МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

12–16 апреля 2010 г.

В трех томах

Том 1

Томск 2010

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической
С56 конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 511 с.

Сборник содержит статьи, разделенные по секциям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения; материаловедение; информатика и управление в технических системах; физические методы в науке и технике; контроль и управление качеством; теплоэнергетика; дизайн и технология обработки материалов; наноматериалы, нанотехнологии и новая энергетика; круглый стол «философия техники»; круглый стол «проблемы организации научно-технического творчества молодежи».

Представляет интерес для специалистов, исследователей в сфере материаловедения, машино- и приборостроения, энергетики, контроля и управления качеством, а также по проблемам НИРС в вузах.

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1**л**.0

Материалы предоставлены в авторской редакции

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2010
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2010

СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Чубик П.С.	д.т.н., профессор, ректор ТПУ, председатель оргкомитета
2. Власов В. А.	д.ф.-м.н., профессор, проректор по НРиИ, сопредседатель оргкомитета
3. Дмитриенко В.П.	к.т.н., доцент, зам. проректора по НРиИ, сопредседатель оргкомитета
4. Шепотенко Н.А.	к.ф-м.н., начальник УМАД НУ
5. Зольникова Л. М.	начальник отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, председатель Круглого стола «Проблемы организации научно-технического творчества молодежи»
6. Негруль В.В.	к.ф.-м.н., директор ИТЦ НУ
7. Сидорова О.В.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
8. Кайрова Н.Н.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
9. Сивков А.А.	д.т.н., профессор кафедры ЭСПП ЭЛТИ, председатель секции № 1
10. Гусев А.С.	д.т.н., профессор кафедры ЭСТ ЭЛТИ, сопредседатель секции № 1
11. Космынина Н.М.	к.т.н., нач. отдела ОНИР СиМУ ЭЛТИ, сопредседатель секции № 1
12. Вотяков В. Ф.	к.т.н., доцент кафедры ИИТ ЭФФ, председатель секции № 2
13. Темник А. К.	к.т.н., зав. отделом НИИ ИН, сопредседатель секции № 2
14. Силушкин С.В.	ст.преп. кафедры КИСМ ЭФФ, сопредседатель секции № 2
15. Мойзес Б. Б.	к.т.н., доцент кафедры АРМ МСФ, председатель секции № 3
16. Ефременков Е.А.	к.т.н., доцент кафедры ТАМП МСФ, сопредседатель секции № 3
17. Соколов А. П.	к.т.н., доцент кафедры ТПМ МСФ, сопредседатель секции № 3
18. Муравлев О. П.	д.т.н., профессор кафедры ЭМА ЭЛТИ, председатель секции № 4
19. Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент, зав. кафедрой ЭПЭО ЭЛТИ, сопредседатель секции № 4
20. Усачева Т.В.	к.т.н., доцент кафедры ЭМА ЭЛТИ, сопредседатель секции № 4
21. Евтушенко Г.С.	д.т.н., профессор, декан ЭФФ, председатель секции № 5
22. Пеккер Я. С.	к.т.н., профессор, зав. кафедрой БМК СибГМУ, сопредседатель секции № 5
23. Аристов А.А.	к.т.н., доцент кафедры ПМЭ ЭФФ, сопредседатель секции № 5
24. Зенин Б.С.	к.т.н., доцент кафедры ММС МСФ, председатель секции № 6
25. Егоров Ю.П.	к.т.н., зав. кафедрой ММС МСФ, сопредседатель секции № 6
26. Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент кафедры ММС МСФ, сопредседатель секции № 6
27. Малышенко А.М.	д.т.н., профессор., зав. кафедрой ИКСУ АВТФ, председатель секции № 7
28. Рудницкий В.А.	к.т.н., доцент кафедры ИКСУ, сопредседатель секции № 7
29. Фадеев А.С.	к.т.н., доцент кафедры АиКС АВТФ, сопредседатель секции № 7
30. Потылицын А.П.	д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой ПФ ФТФ, председатель секции № 8
31. Вергун А.П.	д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТФ, сопредседатель секции № 8
32. Гоголев А.С.	к.ф-м.н., н.с. кафедры ПФ ФТФ, сопредседатель секции № 8
33. Кулешов В.К.	д.т.н., профессор кафедры ФМПК ЭФФ, председатель секции № 9
34. Бразовский В.В.	к.т.н., докторант НИИ ИН, зам. председателя секции № 9
35. Калиниченко А.Н.	ст. преподаватель кафедры ФМПК ЭФФ, зам. председателя секции № 9
36. Заворин А.С.	д.т.н., доцент, зав. кафедрой ПГС ТЭФ, председатель секции № 10
37. Беляев Л.А.	к.т.н., доцент, зав. кафедрой АТЭС ТЭФ, сопредседатель секции № 10
38. Тайлашева Т.С.	к.т.н., ст. преп. кафедры ПГС ТЭФ, сопредседатель секции № 10
39. Кухта М.С.	д.ф.н., профессор кафедры АРМ МСФ, председатель секции № 11
40. Гольдшмидт М.Г.	к.т.н., доцент кафедры АРМ МСФ, сопредседатель секции № 11
41. Громов А.А.	д.т.н., профессор кафедры ТСН ХТФ, председатель секции 12
42. Митина Н.А.	к.т.н., доцент кафедры ТСН ХТФ, сопредседатель секции 12
43. Степанов А.А.	д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»
44. Мещерякова Т.В.	к.т.н., ст. преподаватель кафедры философии СибГМУ, сопредседатель Круглого стола «Философия техники»
45. Маслова С.В.	к.ф.н., доцент кафедры СОЦ ГФ, куратор иногородних участников конференции

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Зольникова Л.М., нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции
2. Сидорова О.В., эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
3. Сивков А.А., д.т.н., проф. кафедры ЭСПП ЭЛТИ, председатель секции № 1
4. Вотяков В.Ф., к. т. н., доцент кафедры ИИТ ЭФФ, председатель секции № 2
5. Мойзес Б.Б., к. т. н., доцент кафедры АРМ МСФ, председатель секции № 3
6. Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭМА ЭЛТИ, председатель секции № 4
7. Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор, декан ЭФФ, председатель секции № 5
8. Зенин Б.Б., к. т. н., доцент кафедры ММС МСФ, председатель секции № 6
9. Малышенко А.М., д. т. н., профессор, зав. кафедрой ИКСУ АВТФ, председатель секции № 7
10. Потылицын А.П., д.ф.- м.н., профессор, зав. кафедрой ПФ ФТФ, председатель секции № 8
11. Кулешов В.К., д.т.н., профессор кафедры ФМПК ЭФФ, председатель секции № 9
12. Заворин А.С., к.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС ТЭФ, председатель секции №10
13. Кухта М.С., д.ф.н., профессор каф. АРМ МСФ, председатель секции № 11
14. Громов А.А., д.т.н., профессор каф. ТСН ХТФ, председатель секции 12
15. Степанов А.А., д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»

СЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Абрамочкина Л.В.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Lusinda86@sibmail.com

Линии электропередач (ЛЭП) высокого напряжения – довольно часто повреждаемые элементы электроэнергетической системы. Выход из работы линии всегда сопровождается или недоотпуском электроэнергии, или снижением надежности и качества электроснабжения. Поэтому одной из важнейших задач линейных ремонтных служб предприятий электросетей является быстрое определение места повреждения (ОМП) и организация ремонтно-восстановительных работ.

К настоящему моменту разработано значительное количество методов ОМП. На рис. 1 схематически представлена одна из классификаций методов ОМП [1].

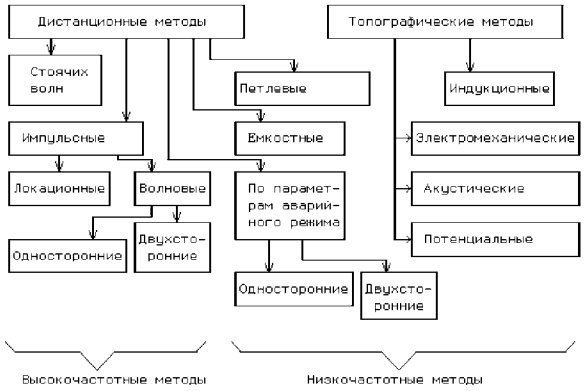


Рис. 1. Схема классификации методов ОМП

В электрических сетях высокого напряжения распространены две группы дистанционных методов ОМП: импульсные, основанные на измерении временных интервалов распространения электромагнитных волн вдоль воздушной линии, и методы, основанные на измерении параметров аварийного режима (ПАР).

Наибольшее распространение получила вторая группа методов, предусматривающая измерение параметров аварийного режима, их запоминание и дальнейший расчет расстояния от шин подстанции до места короткого замыкания (КЗ). Широкое распространение этого метода объясняется его простотой и использованием алгоритмов, применяющихся в практике реализации релейной защиты и автоматики электрических сетей.

Методы ОМП по ПАР по виду измерений разделяются на две большие группы: методы с двусторонним и с односторонним измерением параметров.

Методы с двусторонним измерением основаны на фиксации в момент КЗ токов и напряжений на концах поврежденной воздушной линии (ВЛ) электропередачи с последующим расчетом расстояния до места повреждения. К недостаткам относится сама необходимость получения данных с двух концов ЛЭП, необходимость передачи данных с одного конца ЛЭП на другой или на вышестоящий уровень управления. Двухсторонние измерения позволяют определять только место несимметричного КЗ с большим током. Место трехфазных КЗ, обрывов проводов и замыканий одной фазы на землю в сети с изолированной нейтралью данным методом определить невозможно. К достоинствам двустороннего метода относятся отсутствие влияния составляющих токов нагрузочного режима на расчет и относительная простота расчетов.

В методах с односторонним измерением осуществляется фиксация либо сопротивления участка ВЛ, пропорционального расстоянию до места КЗ, либо одного из параметров аварийного режима (тока, напряжения). В случае измерения тока или напряжения выполняется расчет расстояния до места повреждения. Основной недостаток одностороннего ОМП по ПАР, влияющий на точность ОМП, заключается в ограниченном использовании информации о ПАР. К достоинству одностороннего ОМП относится возможность определения места короткого замыкания при всех его видах.

С начала 80-х годов активно внедряются аналоговые индикаторы типов ФИП, ЛИФП, ФПТ, ФПН и ФИС [2], которые основаны на использовании запоминающего конденсатора. Считывающее устройство приборов серии ФИП дает показания в импульсах. Для получения именованных величин используется градуировочная характеристика. Принцип действия этих приборов позволяет выполнять прибор с линейной зависимостью числа импульсов от измеряемой величины. По сравнению с приборами ФИП приборы ЛИФП имеют ряд преимуществ: позволяют быстрее определять зафиксированную величину без помощи градуировочных характеристик, имеют более широкий диапазон измерений и обеспечивают более длительное хранение зафиксированной информации. Приборы типа ФИС имеют линейную зависимость показаний

счетчика от фиксируемого отношения контролируемых величин. Шкала приборов градуируется непосредственно в километрах длины линии.

По микроэлектронным фиксирующим приборам, описанным выше, имеется, в целом, положительный опыт эксплуатации. Недостатком этих приборов является большая трудоемкость эксплуатации и недостаточная точность ОМП.

Использование микропроцессорной элементной базы позволило существенно ослабить эти недостатки в последующих разработках средств ОМП. Современные программно-технические средства придали новые свойства средствам ОМП: непосредственную фиксацию расстояния до места повреждения в километрах, фиксацию времени возникновения повреждения, автоматическое построение векторных диаграмм. Они имеют удобную диалоговую систему для работы оператора, фиксируют параметры нескольких аварийных ситуаций, оснащены, как правило, встроенным тестовым контролем исправности и не требуют использования каких-либо дополнительных приборов при вводе в эксплуатацию.

Однако работа даже современных микропроцессорных устройств далека от идеала: все еще высока погрешность ОМП (не менее 3%).

К основным факторам, снижающим точность работы устройств ОМП, относятся:

1) Погрешности работы измерительных трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. В наибольшей мере эти погрешности сказываются в начальной стадии переходного процесса, наиболее важной для ОМП.

2) Неопределенность и неустойчивость переходного сопротивления короткого замыкания, приводящая к неточности измерения параметров КЗ. Используемые в настоящее время математические модели позволяют частично компенсировать неопределенность переходного сопротивления КЗ, однако, как показывают практические результаты, используемые расчетные методы несовершенны.

3) Неточность принимаемых по справочным данным параметров ЛЭП. Технология идентификации этих параметров по фактическому состоянию находится пока в начальной стадии развития.

4) Неточность учета взаимной индуктивности между параллельно проходящими линиями электропередачи, которая также обусловлена отсутствием надлежащей идентификации параметров схем замещения по фактическим данным.

5) Упрощенный подход к моделированию переходных процессов в линиях электропередачи при коротких замыканиях, заключающийся в том, что в общем случае не учитывается влияние активных сопротивлений, фазовых сдвигов между векторами напряжений по концам линий и других факторов.

На данный момент прорабатываются различные пути совершенствования средств ОМП.

Во-первых, решается вопрос повышения точности измерительных трансформаторов тока и напряжения. В частности, созданы и находят все более широкое применение весьма точные оптронные трансформаторы тока и напряжения [3].

Во-вторых, совершенствуются алгоритмы и разрабатываются новые методики определения мест повреждения. Например, компания ООО «НТЦ «Механотроника» занимается данным вопросом, и скоро на рынке будет представлен выпущенный ею новый продукт БМРЗ-200 [4]. Проводятся и другие работы в этом направлении [5, 6].

Осуществляется разработка методик идентификации параметров схем замещения линии электропередачи и других элементов электрических сетей по фактическим данным. Работы в этом направлении проводятся в УГТУ – УПИ и в ТПУ [7, 8].

Список литературы

1. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: учебное пособие / Ивановский государственный энергетический университет Иваново, 1998. – 74 с.
2. Борухман В.А, Кудрявцев А.А., Кузнецов А.П. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6–750 кВ. м: Энергия. – 1980. – 104 с.
3. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. сред. проф. образ. / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
4. Пирогов М.Г., Чепелев В.Н. Дистанционное определения места повреждения на линии с применением нового адаптивного алгоритма. Энергоэксперт. – 2009, №4. – С. 54–55.
5. Гриб О.Г. Калюжный Д.Н. Сендерович Г.А. Одностороннее определение места повреждения воздушных линий по параметрам аварийного режима в сетях с эффективно-заземленной нейтралью. Электрические станции. – 2006, №2. – С. 42–46.
6. Якимец И.В. Наровлянский А.В. Иванов И.А. Определение места повреждения в линиях электропередачи на основе измерения потоков мощности. Электричество, 1999, № 5. – С. 5–9.
7. Гольдштейн Е.И. Диагностирование электротехнических цепей / Е.И. Гольдштейн, Н.Л. Бацева, Д.В. Джумик, Ю.П. Усов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 152 с.
8. Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения / В.С Аврамчук, Н.Л Бацева, Е.И. Гольдштейн, И.Н Исаченко, Д.В. Ли, А.О. Сулайманов, И.В. Цапко // под ред. Е.И. Гольдштейна. – Томск: Печатная мануфактура, 2003. – 240 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВПТ ДЛЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БОЛЬШИХ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯХ

Арестова А.Ю.

Научный руководитель: Сидоркин Ю.М., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: anna.arestova@ieee.org

1. Особенности противоаварийного управления в ОЭС Востока

Проблемы статической устойчивости межсистемных связей ОЭС Сибири и ОЭС Востока в настоящий момент обусловливают необходимость автономной работы ОЭС Востока по отношению к ЕЭС России. Вместе с тем, строительство на границе между ОЭС Востока и Национальной энергосистемой Китая вставки постоянного тока (ВПТ) 750 МВт 125 кВ в районе г. Хэйхе, с одной стороны государственной границы, и ВЛ 500 кВ ПС Амурская – ПС Хэйхе, с другой стороны, подошло сегодня к стадии завершения. В ближайшем будущем эта межгосударственная связь должна быть введена в эксплуатацию. Кроме того, обнародованы проекты объединения ОЭС Востока и ОЭС Сибири с помощью устройств несинхронной связи, в том числе ВПТ. Возможное расположение этих устройств и ВПТ в Хэйхе приведено на рис. 1.

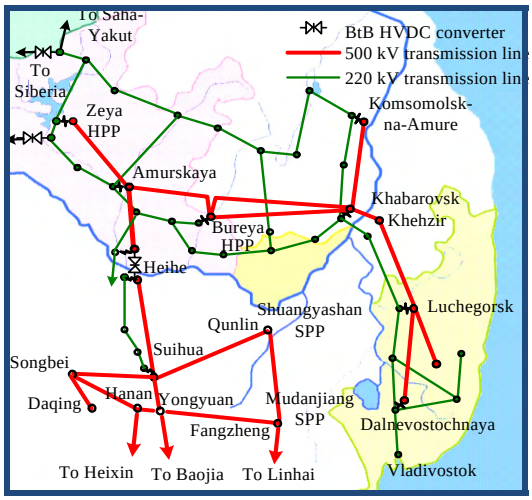


Рис. 1. Схема ОЭС Востока: HPP, SPP, TPP – ГЭС, ГРЭС и ТЭЦ, соответственно

Можно предположить, что появление гораздо более мощной межгосударственной связи между Россией и Китаем, в сравнении с существующими двумя ВЛ 220 кВ и одной ВЛ 110 кВ в районе г. Благовещенска, существенным образом изменит схемно-режимные условия ОЭС Востока и примыкающей к ВПТ высоковольтной сети Национальной энергосистемы Китая. Это потребует, в том числе корректировки действия системной противоаварийной автоматики, формирующей управляющие воздействия для автоматического предотвращения нарушения устойчивости ОЭС Востока в случае возникновения опасных аварийных возмущений. Устойчивость западной части ОЭС Востока обеспечивают так называемые централизованные комплексы противоаварийной автоматики (ЦКПА) Зейской ГЭС и Бурейской ГЭС, расположенные неподалеку от рассматриваемой межгосударственной связи.

Распространение WAMS/WACS технологий в энергосистемах позволяет рассматривать несколько, дополнительно к традиционным, способов противоаварийного управления протяженными электропередачами. В том числе модуляция мощности ВПТ в г. Хэйхе.

2. Содержание вычислительных экспериментов

В работе было исследовано поведение ВПТ в переходных режимах. Национальная энергосистема Китая была представлена эквивалентными узлами генерации и нагрузки, а также линиями 500 кВ. Параметры моделей основного оборудования электростанций ОЭС Востока полностью соответствовали существующим. Нагрузка была представлена только статическими характеристиками.

Основное внимание исследования было уделено сопоставлению двух вариантов объединения энергосистем. Один из которых, синхронное объединение, подразумевает применение на границе энергосистем как ВПТ, так и линий переменного тока, а второй, асинхронное объединение, применение только ВПТ. Этот вопрос довольно актуален для объединенных энергосистем, учитывая возможность модуляции мощности ВПТ как действия противоаварийной автоматики.

Как известно, противоаварийное управление может быть основано на формировании управляющих воздействий и по собственным, и по взаимным параметрам переходного режима. Для измерения взаимных параметров, в свою очередь, может быть применены WAMS технологии (система синхронизированных измерений параметров режима), обоснованная работа которых достигается лишь при синхронном объединении энергосистем.

Большое внимание уделено вопросу демпфирования низкочастотных колебаний мощности, возникающих после аварийного возмущения в энергосистеме. Демпфирование осуществляется

по собственной скорости вращения ротора одного из генераторов энергосистемы Китая.

3. Результаты экспериментов

В качестве аварийного возмущения было воспроизведено двухфазное замыкание на ВЛ 500 кВ вблизи ПС Хабаровская. Следующая последовательность событий была воспроизведена средствами программного комплекса EUROSTAG:

1 с – момент двухфазного замыкания
1.12 с – момент отключения ВЛ 500 кВ
2.12 с – момент АПВ ВЛ 500 кВ.

Результат моделирования представлен на рис. 2. Рис. А в обеих колонках отображает изменение напряжения в узле замыкания во время переходного процесса, по которому, также, можно проследить моменты коммутации в схеме. Рисунки В и С иллюстрируют взаимные углы роторов генераторов соответственно в России и Китае. В свою очередь рисунки D и E отображают изменение углов зажигания и гашения ВПТ во времени. Левая колонка соответствует схемно-режимной ситуации без линий переменного напряжения на границе двух энергосистем. Правая колонка – с параллельными ВПТ линиями 110 кВ и 220 кВ.

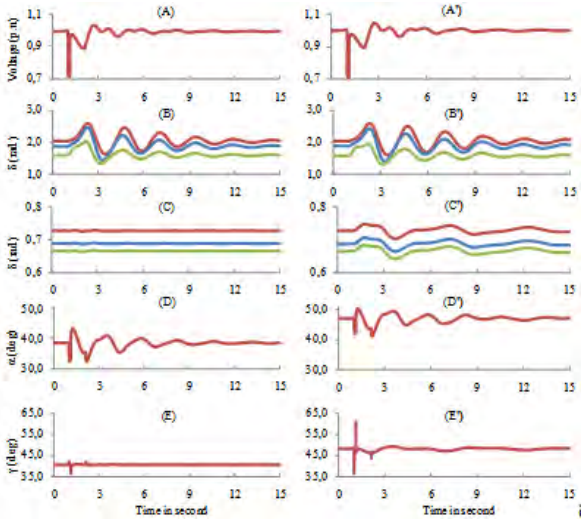


Рис. 2. Результаты моделирования двухфазного замыкания в ОЭС Востока

Анализ полученных результатов дает нам интересную тему для обсуждения. Во-первых, можно увидеть, что возникающие в системе колебания имеют различный характер. В Российской части энергообъединения имеют место незатухающие низкочастотные колебания. В свою очередь, на стороне национальной энергосистемы Китая скорость затухания колебаний значительно выше. Во-вторых, в случае аварийного возмущения в части ОЭС Востока, присутствие на границе энергосистем шунтирующих линий переменного напряжения значительно влияет на частоту колебаний в Китайской части энергообъединения. В-третьих, стандартные регуляторы ВПТ дают положительный результат лишь в случае асинхронного объединения энергосистем.

4. Синхронная работа Китая и ОЭС Востока

Средствами программно-технического комплекса EUROSTAG была разработана структура управляющего контроллера, приведенного на рис. 3. Структура была построена на основе стандартного регулятора вставки постоянного тока. Архитектура дополнительного модуля, формирующего управляющий сигнал для изменения уставки по току в стандартном контроллере, выделена серым цветом на структурной схеме.

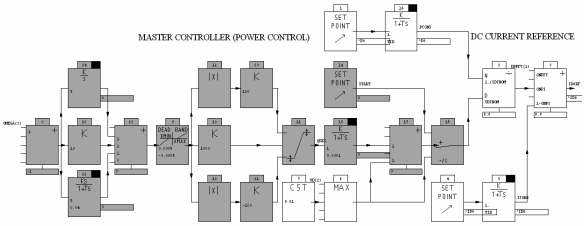


Рис. 3. Исследуемая структура регулятора для демпфирования низкочастотных колебаний мощности

Настоящее исследование охватывает лишь два возможных варианта организации контроллера (регулятор пропорционального действия и ПИД регулятор). На рис. 3 представлена структура контроллера, реализующего ПИД регулирование. В качестве входного параметра выступает скорость вращения ротора одного из эквивалентных генераторов энергосистемы Китая. Характер низкочастотных колебаний в рассматриваемом энергообъединении допускает пренебрежение временной задержкой передачи информации от датчиков частоты к вычислительному управляющему устройству. Это обстоятельство обусловлено беспрецедентным развитием WAMS технологий в Китае.

Результаты эксперимента показали, что действие регулятора приводит к снижению амплитуды колебаний частоты и в ОЭС Востока и в энергосистеме Китая более чем на 50%. Результаты моделирования подтверждают более высокую эффективность ПИД регулирования по сравнению с пропорциональным законом регулирования. Оптимизация коэффициентов регулирования станут предметом дальнейшего исследования. Дополнительного демпфирования следует ожидать от применения разнообразных FACTS устройств.

5. Заключение

В условиях сосуществования технологии переменного и постоянного тока в энергосистемах в ближайшем будущем межгосударственная торговля электроэнергией между Россией и окружающими ее странами может происходить с использованием обеих технологий. Сосуществование двух технологий станет более эффективным, если для противоаварийного управления в энергосистемах будет использован потенциал ВПТ.

Список литературы

1. The Use of Special Tools for Emergency Control in the Russian Far East Power Grid / E. Kosterina, A. Arestova, M. Balabin et. al. // Proc. PowerCon, New Delhi, 2008.

ШАГИ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ

Ачитаев А. А., Бузин С.С.

Научный руководитель: Ельникова В. Ю. доцент

Хакасский технический институт – филиал Сибирского Федерального университета, 655017, Россия, респ. Хакасия, г. Абакан, ул. Комарова, 15
E-mail: Ac-an-alec@mail.ru

Актуальность выбранной темы заключается в том, что на территории республики Хакасия есть зоны, перспективные для использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В данной работе создан инструмент для получения информации о распределении потенциала возобновляемых источников энергии по интересующей территории и определении предпочтительных мест размещения объектов ветроэнергетики и солнечной энергетики.

Данные по солнечной и ветровой активности для исследуемого района получены на основании метеоданных NASA [3]. Для оценки и выбора элементов энергоустановки использовалась программа HOMER [4].

Для возможности применения автономных энергоустановок на ВИЭ в интересующих нас районах необходимо решить следующие задачи:

- получение координат на географической карте расположения объекта.
- обследование состояния объекта по метеокартам.
- проведение расчета и выбора состава энергоустановки.
- проработка пилотного проекта.

В качестве экспериментальной площадки был выбран жилой массив вблизи посёлка Калинино с проблемным электроснабжением. Это массив коттеджного типа, расположен в черте г. Абакана. Географические координаты: широта $53{,}45^0$, долгота $91{,}22^0$ (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковый снимок района Калинино [2]

Метеоданные по солнечной и ветровой активности исследуемого района представлены в виде таблицы.

Таблица 1

Метеоданные посёлка Калинино

Month	Wind Speed (m/s)	Daily Radiation (kWh/m2/d)
January	3.550	0.886
February	3.520	1.729
March	3.300	2.902
April	3.370	4.054
May	3.160	5.133
June	2.770	5.525
July	2.560	5.560
August	2.800	4.633
September	3.110	3.249
October	3.460	1.791
November	3.670	0.955
December	3.660	0.630
Annual average:	3.242	3.094

В программе HOMER зададим необходимые компоненты метеоданных ежемесячной ветровой и солнечной активности, а также координат местности.

Зависимость скорости ветра в течение определенного периода времени может быть описана функцией распределения вероятности. Для этого лучше всего подойдет функция Вейбулла (1), имеющая два параметра – параметр формы k и параметр единиц измерения c [1]:

$$h(\upsilon) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^k}. \qquad (1)$$

Среднекубическая (2) скорость необходима при оценке ветрового потенциала исследуемой местности. Она определяется следующим выражением:

$$U = \sqrt[3]{\sqrt{\pi}\frac{3c^3}{2k}}. \qquad (2)$$

Под рабочей скоростью будем понимать ту скорость, с которой ветер дует большую часть своего времени (на графиках распределения (см. рис. 2) это соответствует максимуму функции распределения). Для Калинино эти параметры соответственно равны k=2.04, c=3.68 м/с. На основании этих данных получим значение среднекубической скорости – 4 м/с.

Если не учитывать параметры распределения и масштабные коэффициенты, то использование значений рабочей и средней скорости может при-

вести к серьёзной ошибке при выполнении оценки годовой выработки энергии.

Возможная средняя выработка электроэнергии с одного квадратного метра площади ветротурбины (3) в год с коэффициентом мощности C_P=0.5 (максимальный КПД выходной мощности турбины) может быть представлена так:

$$E = \frac{1}{2} C_P \rho U^3 \cdot 8760 = \frac{1}{4} \rho U^3 \cdot 8760 \left[\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}\right], \qquad (3)$$

Плотность воздушного потока ρ на высоте H_m находится по формуле:

$$\rho = \rho_0 e^{-\left\{\frac{0.297 H_m}{3048}\right\}},$$

где ρ – плотность воздуха на уровне моря при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре 15 °С составляет 1,225 кг/м^3.

Учитывая плотность воздушного потока на высоте возвышения Калинино (250 м) над уровнем моря и параметра среднекубической скорости воздуха значение средней выработки электроэнергии в год составляет 170 кВт·ч/год.

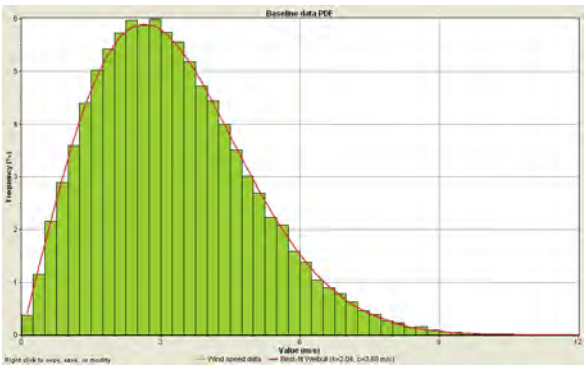


Рис. 2. Распределение Вейбулла посёлка Калинино

Состав автономной энергоустановки на ВИЭ: ветрогенератор, солнечный модуль, контроллер заряда-разряда, система аккумуляторов.

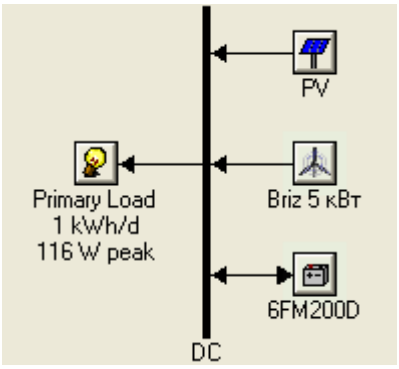


Рис. 3. Состав автономной энергоустановки

Цивилизованное производство энергии на основе ВИЭ – это её оптимальный вариант, который обеспечивает минимальную стоимость одного киловатта в час выработанной электроэнергии в течение срока службы.

В результате моделирования в программе HOMER получаем оптимальный вид автономной энергоустановки в зависимости от располагаемых метеорологических ресурсов, критерием оптимальности является цена энергоустановки (капитальные вложения) и покрытие нагрузки.

Синим цветом выделена область работы ветрогенератора и солнечных модулей, зеленым – ветрогенератора (См. рис. 4).

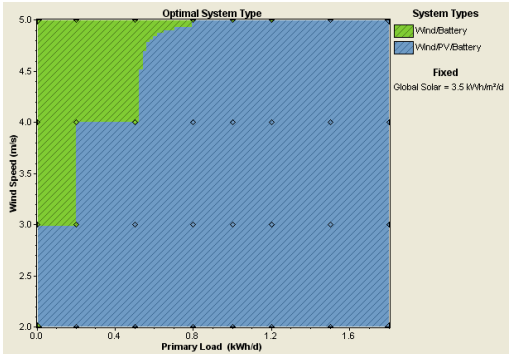


Рис. 4. Оптимальный вид системы

Также находятся в целом затраты капиталовложений с учетом покрытия нагрузки.

	PV (kW)	G1	6FM200D	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Forecast Reliability (%)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
	0.2	1	12	$10,735	578	$18,127	3.885	0.0	1.00	0.00

Рис. 4. Оптимальные затраты на установку

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод: автономными энергоустановками на базе ВИЭ на территории республики Хакасия могут воспользоваться заповедники, туристические базы, потребители малой мощности.

Одним из результатов достижения цели работы будет создание экспериментальных площадок, на которых возможно осуществить показ демонстрационных инвестиционных проектов по использованию ВИЭ в различных регионах республики и отработка на практике механизмов их реализации.

Социально-экономическая эффективность реализации работы заключается, прежде всего, в создании благоприятных инвестиционных условий для расширения использования ВИЭ. Возможность модернизации устаревших систем теплоснабжения частных строений на местном уровне будет составной частью деятельности в рамках работы и приведет к существенному повышению эффективности энергосберегающих технологий. Значимость работы заключается в обеспечении получения энергии без увеличения нагрузки на окружающую среду в экологически уязвимых районах республики и без увеличения нагрузки на существующие электрические сети, что немало важно в связи с ситуацией на Саяно-Шушенской ГЭС.

Список литературы

9. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.
10. Программа Google Earth v. 5.1.01
11. Официальный сайт сервера NASA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eosweb.larc.nasa.gov
12. Официальный сайт программы HOMER: http://analysis.nrel. gov/homer

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Балабанов А.М., Темербаев С.А.

Научный руководитель Довгун В. П., д.т.н., профессор

Сибирский федеральный университет, Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: bas88528@yandex.ru

Широкое распространение импульсных преобразователей в современных энергосберегающих системах электропитания объясняется тем, что они имеют значительные преимущества перед традиционными непрерывными источниками. Эти преимущества заключаются в более высоком КПД, меньших габаритах и массе. В настоящее время импульсные преобразователи, работающие на частотах переключения от десятков до сотен килогерц используются в источниках вторичного электропитания компьютеров, систем телекоммуникаций, технологических установок, бытовой техники и т. п.

Существенный недостаток импульсных преобразователей заключается в том, что они являются источниками кондуктивных и радиопомех, возникающих в процессе переключения. Это объясняется схемными особенностями импульсных преобразователей. Периодические коммутации вентилей приводят к тому, что ток, потребляемый преобразователями, имеет форму коротких импульсов. В результате повышается уровень гармоник в сети, к которой подключен преобразователь.

Высокий уровень содержания гармоник отрицательно влияет на эффективность работы промышленного электрооборудования, бытовых приборов, вычислительной техники, приводит к ускоренному старению оборудования. Поэтому анализ гармонического состава напряжений и токов в электрических сетях представляет важную и актуальную задачу.

Для анализа процессов в цепях с импульсными преобразователями широкое распространение получил метод усредненного пространства состояний. Он основан на замене мгновенных значений токов и напряжений их средними значениями. Метод используется преимущественно в тех случаях, когда амплитуда пульсаций переменных состояния цепи невелика по сравнению с их средними значениями. Однако для анализа гармонического состава колебаний этот метод неприменим.

Другой метод анализа цепей с импульсными преобразователями, основанный на представлении токов и напряжений в виде ряда Фурье, рассмотрен в работах [4, 5]. Исходным математическим описанием цепи является система дифференциальных уравнений, которые затем трансформируются в частотную область. Его можно рассматривать как обобщение метода усредненного пространства состояний. В он назван методом многочастотного усреднения.

В докладе метод многочастотного усреднения использован для анализа установившихся режимов в электрических цепях с периодически коммутируемыми элементами. Таким элементами могут быть импульсные преобразователи, управляемые и неуправляемые выпрямители и т. д. Форма напряжений и токов цепи может быть произвольной.

Особенности предлагаемого метода заключаются в следующем.

1. Коммутируемые элементы представляются непрерывными моделями, содержащими зависимые источники напряжения и тока.

2. Используется спектральное представление переменных цепи, а также законов управления коммутируемых элементов.

3. Для анализа полученной математической модели используются уравнения в смешанном координатном базисе напряжений узлов цепи и токов коммутируемых элементов.

4. Уравнения цепи формируются в частотной области. Это позволяет упростить анализ за счет исключения этапа формирования дифференциальных уравнений.

Анализируемая цепь может содержать индуктивные, емкостные, резистивные элементы, независимые источники, а также коммутируемые элементы. Последние мы будем полагать идеальными. Это означает, что коммутация происходит мгновенно, сопротивление замкнутой ветви равно нулю, а разомкнутой бесконечно.

Представим коммутируемый элемент четырехполюсником, переменные на внешних зажимах которого связаны матричным равенством

$$[x_2] = [M][x_1]$$

Здесь $[x_1]$ – вектор входных (управляющих), а $[x_2]$ – вектор зависимых (выходных) переменных. Например, для двухпозиционного ключа, показанного на рис. 1, компонентное уравнение имеет вид:

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

Уравнению (1) соответствует эквивалентная схема, показанная на рис. 2.

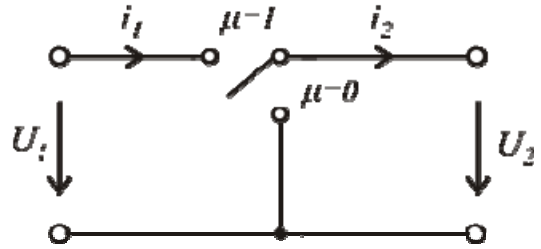


Рис. 1. Двухпозиционный ключ

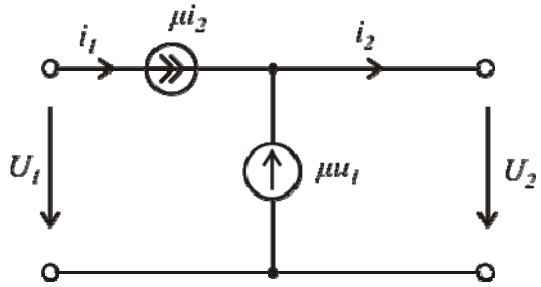


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения двухпозиционного ключа

Примем, что коммутации в рассматриваемой цепи происходят с периодом *T*. Токи и напряжения также являются периодическими функциями времени. Они могут быть представлены рядом Фурье

$$x(t)=\sum_{(k)}\langle x\rangle_k(t)e^{jk\omega_1 t}$$

Здесь $\langle x\rangle_k(t)$ – комплексная амплитуда *k*-й гармоники, определяемая по формуле

$$\langle x\rangle_k(t)=\frac{1}{T}\int_0^T x(t)e^{-jk\omega_1 t}dt\,.$$

Частота основной гармоники $\omega_1=2\pi/T$.

Коэффициент $\langle x\rangle_0$ равен среднему значению $x(t)$ за период. Коэффициент $\langle x\rangle_1$ определяет амплитуду основной гармоники.

При выводе компонентных уравнений для коммутируемых элементов учтем, что умножению функций времени соответствует свертка их спектров:

$$\langle m\cdot x\rangle_n=\sum_{(i)}\langle m\rangle_{n-i}\langle x\rangle_i\,.$$

Поэтому компонентное уравнение коммутируемого элемента имеет вид (учтены гармоники с индексами –1, 0, 1):

$$\begin{bmatrix}\langle x_2\rangle_{-1}\\ \langle x_2\rangle_0\\ \langle x_2\rangle_1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\langle m\rangle_0 & \langle m\rangle_{-1} & 0\\ \langle m\rangle_1 & \langle m\rangle_0 & \langle m\rangle_{-1}\\ 0 & \langle m\rangle_1 & \langle m\rangle_0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\langle x_1\rangle_{-1}\\ \langle x_1\rangle_0\\ \langle x_1\rangle_1\end{bmatrix}\qquad(2)$$

В уравнении (2) $\langle x_1\rangle_k$, $\langle x_2\rangle_k$ – комплексные амплитуды гармоник входных (управляющих) и выходных (управляемых) переменных коммутируемого элемента.

В докладе рассмотрены вопросы расчета цепей с коммутируемыми элементами в среде MatLab.

Заключение

1. В докладе рассмотрен общий метод анализа установившихся процессов в электрических цепях с импульсными преобразователями. Он может быть использован для анализа неуправляемых и управляемых выпрямителей, ШИМ-преобразователей, резонансных конверторов.

2. Предлагаемый метод позволяет получать решение как во временной, так и в частотной областях. Это дает возможность не только оценить относительное содержание отдельных гармоник, но и определить форму напряжений и токов в сети.

3. Приведены примеры, иллюстрирующие предложенный метод анализа.

Список литературы

13. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
14. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд. – М., Энергоатомиздат, 1994.
15. Миддлбрук Р. Малосигнальное моделирование ключевых преобразователей мощности с широтно-импульсным регулированием. ТИИЭР, 1988. – Т. 76. – № 4. – С. 46–59.
16. Sanders S., Norovolski J., Liu X., Verghese G. Generalized averaging method for power conversion circuits. IEEE transactions on power electronics, Vol. 6, No 2, 1991. – P. 251–258.
17. Caliskan V., Verghese G., Stankovich A. Multifrequency averaging of DC/DC converters. IEEE trans. on power electronics, 1999. – Vol. 14. – № 1. – P. 124–133.

ПОСТАНОВКА ДЕЛОВЫХ ИГР ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ-ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОВ

Барский М.С., Мастерова О.А.

Научный руководитель: Мастерова О.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 643050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Barsky@sibmail.com

В современных условиях для обеспечения поступательного и устойчивого развития экономики страны необходимо обеспечение надежности работы всей электроэнергетической отрасли, которая в значительной степени зависит от профессиональных знаний и навыков оперативного персонала электроэнергетических предприятий. Это предъявляет повышенные требования к системе подготовки будущих инженеров-электроэнергетиков, способных квалифицированно решать свои профессиональные задачи, готовых четко и своевременно реагировать на различные изменения, эффективно использовать новую технику и технологии.

Новые требования к уровню образованности и развития личности приводят к необходимости изменения технологий обучения, переходу к инновационному инженерному образованию при котором мотивация к усвоению знания достигается путем выстраивания отношений между конкретным знанием и его применением.

Инновационное обучение может быть охарактеризовано как процесс и результат целенаправленного формирования определенных знаний, умений и методологической культуры, а также как комплексная подготовка специалистов в области техники и технологии к инновационной инженерной деятельности за счет соответствующих содержания и методов обучения [1].

Для того, чтобы добиться устойчивого интереса студентов к изучаемому предмету, приблизить образование к практическим нуждам обучающихся используются в первую очередь различные методы активного обучения (АМО), где обучаемый участвует как субъект собственного обучения. Речь идет о *деловых, ролевых играх, тренингах* и т. д.

Деловая игра – средство моделирования разнообразных условий профессиональной деятельности (включая экстремальные) методом поиска новых способов ее выполнения. Деловая игра имитирует различные аспекты человеческой активности и социального взаимодействия. Игра также является методом эффективного обучения, поскольку снимает противоречия между абстрактным характером учебного предмета и реальным характером профессиональной деятельности.

Деловая игра при обучении студентов – это имитация рабочего процесса, моделирование, упрощенное воспроизведение реальной производственной ситуации. Перед участниками игры ставятся задачи, аналогичные тем, которые они будут решать в ежедневной профессиональной деятельности. Эти задачи могут быть самыми разными, например, для подготовки студентов-электроэнергетиков важным представляется приобретение навыков по руководству и проведению оперативных переключений в схемах объектов электроэнергетики.

В рамках активизации профессиональной подготовки студентов на кафедре «Электроэнергетические системы и высоковольтная техника» (ЭСВТ) ЭЛТИ ТПУ осуществляется разработка и постановка деловых игр по управлению схемно-режимными состояниями энергосистем. Основной материальной базой для постановки деловых игр является Всережимный моделирующий комплекс электроэнергетической системы (ВМК ЭЭС), разработанный в Томском политехническом университете. ВМК ЭЭС позволяет осуществлять полный спектр нормальных и аварийных режимов и процессов моделируемой ЭЭС и служит эффективной основой для построения всережимного тренажёра реального времени.

Непосредственно данная работа посвящена разработке деловой игры для приобретения навыков простых переключений на подстанции в нормальных режимах работы – «Ввод в работу трансформатора АТ-3 ПС Восточная 220».

Методические указания для подготовке к деловой игре составлены на основе Инструкция по переключениям в электроустановках СО 153-34.20.505-2003, определяющей порядок и последовательность выполнения переключений в электроустановках напряжением до 1000 В и выше, утвержденной и введенной в действие приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 266.

При разработке методики проведения деловой игры в первую очередь были определены: состав участников и их роль в игре, цель и основные задачи, исходное состояние схемы.

В данной деловой игре принимают участие 4 человека, имитирующих деятельность диспетчера РДУ, дежурного по подстанции, электромонтеров, проводящих переключения (2 человека) и два лица, контролирующих порядок проведения деловой игры.

В данной деловой игре отрабатываются следующие операции: получение и оформление распоряжения о переключении; составление бланка переключений (подготовка к использованию типового бланка переключений); проведение переключений по бланку переключений на тренажере; регистрация проведенных переключений в оперативном журнале.

Для упрощения контроля за проведением деловой игры и анализа ее результатов разработана карта деятельности, где указаны в правильном порядке все обязанности каждого из участников деловой игры (эталонная деятельность) и имеется специально отведенная графа для фиксации ошибок. Данная деловая игра была проведена учащихся пятого курса обучения магистерской программы «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность».

Ниже приведена заполненная карта деятельности участников деловой игры.

№ пп	Эталонная деятельность	Ошибки
1	Выдача распоряжения о переключении выполняется в следующем порядке (обязанность диспетчера)	
1.1	Позвонить на подстанцию и убедится, что: ремонт трансфоматора АТ-3 завершен, бригада выведена с места ремонта, на подстанции есть типовой бланк переключения	
1.2	Дать распоряжение на ввод из ремонта трансформатора АТ-3	
2	Получение и оформление распоряжения о переключении осуществляется в следующем порядке (обязанности дежурного по подстанции)	
2.1	Получив распоряжение о переключении, должен записать его на «черновик», повторить по записи и получить подтверждение диспетчера о том, что распоряжение понято правильно	Дежурный не записал распоряжение на черновик
2.2	Сделать запись задания в оперативный журнал	Запись сделана несвоевременно
2.3	Достать типовой бланк переключения	
2.4	Разъяснить электромонтерам, участвующих в переключениях, цель полученного распоряжения и последовательность предстоящих операций	
2.5	Отдать электромонтерам типовой бланк переключения	
3	Переключения по бланкам переключений выполняются в следующем порядке (обязанности электромонтеров)	
3.1	На месте переключений внимательно проверить по надписи наименование присоединения и название аппарата, на котором предстоит проведение операции, и соответствие их указанным в бланке переключений	Наименование присоединения не проверено по надписи.
3.2	Убедившись в правильности выбранного присоединения и аппарата, контролирующему лицу зачитать по бланку переключений содержание операции или проверочного действия, подлежащего выполнению	
3.3	Лицу, выполняющему операцию, повторить ее содержание и, получив разрешение контролирующего лица, выполнить операцию	Лицо, выполняющее операцию не повторил ее содержание
3.4	Сразу после выполнения отдельных операций или проверочных действий в бланке переключений сделать отметки об их выполнении, чтобы исключить возможность пропуска какой-либо операции	Отметки о выполнении не сделаны
3.5	Перед началом и по окончании операций по переключениям в бланке переключений указать дату и время начала и окончания операций. Использованный бланк перечеркнуть и сложить в папку использованных бланков переключений	Дата не была указана, бланк не перечеркнут
3.6	Сообщить дежурному об окончании переключений и отдать использованный перечеркнутый бланк	
4	По окончании переключений (обязанности дежурного по подстанции)	
4.1	Сообщить диспетчеру, отдавшему распоряжение о переключении	
4.2	Сделать запись в оперативном журнале о всех операциях с коммутационными аппаратами, изменениях в цепях РЗА, о включении (отключении) заземляющих ножей, наложении (снятии) переносных заземлений с указанием их номеров и мест нахождения	
4.3	Указать в оперативном журнале номер бланка переключений, по которому проводились операции, с указанием установленных (снятых) заземлений и сделать запись об изменении первичной схемы электроустановки	

Оценка деятельности студентов осуществлялась по сумме сделанных ими ошибок в процессе игры, которые можно разделить на грубые, средней тяжести и незначительные. Все ошибки фиксировались контролирующими лицами.

В конце деловой игры с участниками был проведен полный анализ выявленных ошибок. Опрос, проводимый после деловой игры, показал, что участники, по их утверждению, стали лучше разбираться во взаимодействии оперативного персонала различных уровней, яснее понимать требования отраслевой инструкции по переключениям в электроустановках.

В заключении можно отметить что проведение деловых игр для студентов-электроэнергетиков оказывает положительное влияние на качество подготовки специалистов и упрощает их адаптацию к будущей профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Агранович Б.Л. Инновационное инженерное образование / Б.Л. Агранович, А.И. Чучалин, М.А. Соловьев // Инженерное образование. 2003. – № 1. – С. 11–14.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Белоглазов А.В.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, д. 20
E-mail: beloglazov_a_v@inbox.ru

Введение

Агрегаты гидроэлектростанций являются технологически сложным оборудованием. Требования, предъявляемые к их работе, как и к работе другого важного оборудования в энергетике, достаточно жесткие, так как от этого зависит качество электроснабжения потребителей. Все это говорит о том, что необходимы методики и средства, позволяющие своевременно обнаруживать дефекты гидроагрегатов. На данный момент существуют несколько методов диагностики [1, 2]. Каждый метод основывается на специальных физической и математической моделях, а также рассматривает определенные дефекты. При этом особое внимание уделяется комплексной диагностике, которая позволяет более полно определять состояние гидроагрегатов. Однако все современные методики и средства диагностики (визуальные осмотры, автоматизированные системы мониторинга, экспертные системы) имеют определенные недостатки. Самые существенные из них – высокая стоимость диагностирования, долгий простой оборудования, а также необходимость специально обученного персонала. Таким образом, есть необходимость в разработке нового подхода к диагностированию гидроагрегатов. В качестве основного метода диагностики в статье рассмотрен вибрационный метод.

Постановка задач

Цель работы заключается в разработке нового подхода для выявления дефектов ротора гидрогенератора и гидротурбины. Для этого необходимо проанализировать дефекты вращающейся части гидроагрегата и определить признаки этих дефектов, а затем разработать методику выявления дефектов на ранней стадии развития.

Обзор дефектов вращающейся части гидроагрегата

Подробный анализ дефектов вращающейся части гидроагрегата приводится в [1, 2]. По таблице, приведенной в [1], можно сделать вывод, что основная часть дефектов может быть выявлена методами вибрационной диагностики по результатам измерения биений вала. Это следующие дефекты: механический и электромагнитный дисбалансы ротора; снижение, а иногда и полное исчезновение натяга обода ротора; механический и гидравлический дисбалансы рабочего колеса турбины; смещение рабочего колеса турбины по вертикали; отклонение рабочего колеса турбины от осевого положения; рассогласование углов установки лопастей турбины; кавитационные явления; нарушение комбинаторной связи; нарушения в проточной части турбины.

Для таких дефектов, как увеличение сопротивления контактных соединений обмоток возбуждения и увеличение сопротивления контактных соединений успокоительных обмоток, характерным признаком является повышение температуры, при этом вибрации не возникает. Следовательно, для их выявления необходимо применять методы температурной диагностики.

Еще один дефект, который не может быть выявлен вибрационным методом, – несовпадение электрических осей статора и ротора (разность в высотном положении средних линий статора и ротора). Данный дефект можно выявить при осмотрах либо средствами контроля воздушного зазора.

Методика выявления дефектов

Из анализа, приведенного выше, можно заключить, что для выявления перечисленных дефектов нельзя применить какой-то один универсальный метод диагностики. Поэтому здесь можно говорить о модели комплексного диагностирования, в которой отдельные дефекты определяются наиболее подходящими для этого методами. При этом данные, полученные посредством одного метода диагностики, следует использовать для уточнения результатов другого.

Если говорить об автоматизации выявления большинства дефектов движущейся части гидроагрегата, то здесь целесообразно использовать автоматическую систему контроля биений вала. Подобные системы уже есть, но они не лишены недостатков, упомянутых во введении к этой статье. Для решения этой проблемы сделана попытка разработать полностью автоматическую систему выявления дефектов по данным биения вала.

Гибридная система выявления дефектов

Данная система представляет собой группу гибридных модулей, построенных на базе нечеткой логики и реализованных в виде нейронной сети [3]. Использование теории нечетких множеств связано с тем, что процесс выявления дефектов относится к задачам, решение которых имеет многозначный и неточный характер. Но нечеткие системы имеют недостаток: они не способны самообучаться. Выходом из этой ситуации является представление модуля нечеткого выявления дефектов в виде нейронной сети [4]. Еще одной положительной стороной использования нейросетевой реализации в приложении к технической диагностике является возможность значительно повысить скорость обнаружения неисправностей, не снижая при этом точности выявления дефектов.

Как уже было упомянуто выше, система состоит из нескольких модулей. Такая структура системы выбрана с расчетом, что для каждого гипотетически возможного дефекта выделяется отдельный нечетко-нейронный модуль. Этим можно добиться более точного обучения каждого индивидуального модуля, так как он должен будет выявлять только «свой» дефект. Как следствие этого, скорость обнаружения всех дефектов будет гораздо выше вследствие уменьшения количества правил в каждом отдельно взятом модуле. Таким образом, нечетко-нейронная система выявления дефектов представляет собой несколько параллельных нечетко-нейронных модулей. На вход каждого модуля подаются контролируемые параметры (амплитуды биений вала), а на выходе имеем значения, определяющие возможность дефектов. Необходимо отметить важность правильного выбора набора входных параметров для каждого модуля, так как их недостаточное количество может сказаться на неточном выявлении дефекта, а излишнее количество требует дополнительных вычислительных ресурсов и, как следствие, на увеличение времени обработки информации. Для выявления дефектов вращающейся части гидроагрегата предполагается использование 6 входных параметров. Каждый параметр представляет изменение расстояния между датчиком и валом гидроагрегата. Датчики располагаются по парам на трех уровнях: на верхнем генераторном подшипнике (ВГП), на нижнем генераторном подшипнике (НГП) и на турбинном подшипнике (ТП).

Проверка работы гибридного модуля

Моделирование проводилось в пакете Fuzzy Logic Toolbox. Этот пакет позволяет конструировать нечетко-нейронные системы различной сложности. Было создано 2 нечетко-нейронных модуля для выявления дефектов ротора и 2 модуля для выявления дефектов рабочего колеса турбины. Каждый модуль обучался выявлять определенный дефект индивидуально. В качестве входных параметров использовались амплитуды биений вала, которые были получены с помощью программной модели движения ротора гидроагрегата [1] для каждого перечисленного выше дефекта. Эта программа предусматривает получение 6 амплитуд, по аналогии с реальной системой мониторинга гидроагрегата, где используются датчики, установленные попарно на трех уровнях: на ВГП, на НГП и на ТП. Таким образом, эксперимент заключался в следующем: сначала задавался определенный дефект на модели движения ротора, определялись изменения расстояния между ротором и датчиком этой модели, с помощью которых затем составлялись обучающие наборы для гибридного модуля. Дефекты на модели движения ротора задавались с помощью соответствующих значений для сил, которые действуют на ротор и являются причиной дефекта.

Механические дисбалансы ротора генератора и рабочего колеса турбины задавались с помощью неуравновешенных масс и расстояний от оси ротора и вала рабочего колеса турбины до соответствующих масс. Электромагнитный дисбаланс ротора является следствием искажения формы ротора. Этот режим характеризуется наличием силы магнитного тяжения, неподвижной относительно ротора. Для моделирования электромагнитного дисбаланса ротора достаточно задать эту силу и ее направление. Гидравлический дисбаланс рабочего колеса, отклонение рабочего колеса турбины от осевого положения, нарушения в проточной части турбины и рассогласование углов установки лопастей турбины приближенно моделируются при помощи двух сил тяжения, одна из которых неподвижна относительно ротора, а другая – относительно статора, а также направлений этих сил. Кроме обучающего набора параметров, настройка и проверка каждого модуля осуществлялась еще по 2 наборам входных параметров: проверочному и тестирующему. После обучения на вход каждого модуля подавался проверочный набор, при помощи которого осуществлялась проверка на такую ситуацию, как переобучение сети, при котором ошибка для обучающего набора стремится к нулю, а для проверочного – возрастает. Для окончательной проверки правильного функционирования обученной сети на вход подавался тестирующий набор входных параметров. Этот набор подбирался обязательно отличным от обучающей выборки, чтобы проверить работу гибридного модуля в ситуации, для которой у него нет правила. В результате, большинство дефектов были выявлены достаточно точно.

Результаты работы

Рассмотрены и проанализированы дефекты вращающейся части гидроагрегата. Обосновано применение комплексной методики для выявления этих дефектов. Для выявления большей части дефектов, общим признаком для которых является вибрация вращающейся части гидроагрегата, предложена гибридная система диагностики, состоящая из отдельных модулей для каждого дефекта. Средствами компьютерного моделирования разработана и протестирована модель, реализующая каждый модуль.

Список литературы

1. Глазырин Г.В. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Новосибирск: НГТУ, 2006. – 196 с.
2. Обнаружение дефектов гидроагрегата / А.Е. Александров, Е.В. Гущин, В.Б. Кулаковский и др.; под ред. Л.Г. Мамиконянца и Ю.М. Элькинда. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
3. Белоглазов А.В. Автоматическая система контроля и диагностики гидроагрегатов / А.В. Белоглазов, Г.В. Глазырин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. – 2009. –№1 (Спец. выпуск). – С. 127–130.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Издательство «Горячая линия-Телеком», 2007. – 452 с.

ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Бойко М.Ю., Шишулькина М.Ю.

Научный руководитель: Шестакова В.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shestakova@elti.tpu.ru

В последние годы на основе результатов многочисленных научных исследований и опыта эксплуатации в отечественной энергетике имеется устойчивая тенденция к пересмотру режимов заземления нейтрали в электроустановках 3 ÷ 35 кВ, которые принято называть электроустановками среднего напряжения.

Анализ зарубежного опыта также показывает, что единого подхода в формировании технической политики по построению распределительных сетей не существовало и не существует в настоящее время. Этот факт подтверждается тем, что во многих странах используются различные режимы работы нейтрали (табл. 1).

Таблица 1

Применение различных режимов работы нейтрали в разных странах

Страна	Принятое напряжение	Способ заземления нейтрали			
		1	2	3	4
Россия	6–35 кВ	+	+	+	
Австралия	11–12 кВ			+	+
Канада	4–25 кВ			+	+
США	4–25 кВ	+	+	+	+
Испания	10–30 кВ			+	+
Италия	10–20 кВ	+			
Португалия	10–30 кВ			+	
Франция	12–24 кВ			+	
Япония	6,6 кВ	+		+	
Германия	10–20 кВ	+	+	+	
Австрия	10–30 кВ		+		
Бельгия	6,3–17 кВ			+	
Англия	11–кВ			+	+

Примечание.
В табл. 1 обозначено: 1 – изолированная нейтраль; 2 – компенсированная нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор; 3 – резистивное заземление нейтрали; 4 – глухое заземление.

Одной из главных проблем, связанных с выбором режима заземления нейтрали, является отсутствие четкого регламента по этому вопросу. Нефтяные компании разрабатывают свои регламенты, железная дорога – свои и т. д. Единого подхода и единых методик в настоящее время не существует [1].

Опыт эксплуатации распределительных сетей среднего напряжения в России и за рубежом показывает, что каждый режим заземления нейтрали имеет свои достоинства и недостатки, то есть все режимы имеют право на существование. Задача заключается в том, чтобы сформулировать четкие критерии оценки каждого режима.

Для формирования таких критериев специалисты рекомендуют анализировать пять основных направлений влияния режима заземления нейтрали:

- уровень перенапряжений при дуговых замыканиях на землю,
- принцип выполнения релейной защиты от однофазных замыканий на землю,
- надежность электроснабжения потребителей и работы сети,
- безопасность эксплуатации сетей,
- стоимость капитального строительства и эксплуатационных издержек.

Часть этих направлений хорошо изучена. Например, основные теоретические положения, касающиеся формирования перенапряжений в сетях с различными режимами заземления нейтрали, были сформулированы ещё в 30-е гг. XX в. и изложены в [2]. Часто обсуждаются на страницах периодических изданий и на тематических конференциях вопросы выполнения релейной защиты. Однако вопросы надежности, безопасности и экономического обоснования решений практически не дискутируются в российской печати.

Коротко рассмотрим влияние режима заземления нейтрали на перенапряжения при дуговых замыканиях на «землю». Известно, что в сетях с изолированной нейтралью максимально возможный уровень перенапряжений составляет примерно $3U_{ф}$, во всех остальных режимах 2,4–2,6. Однако вероятность возникновения таких перенапряжений мала. Принципиальным является не сам уровень перенапряжения, а длительность его воздействия. Вероятность выхода из строя элементов сети с каждым зажиганием дуги увеличивается.

Необходимость ограничения времени действия перенапряжений на сеть означает необходимость установки быстродействующей релейной защиты от однофазных замыканий. Несмотря на то, что производители устройств РЗиА каждый год предлагают все более совершенные устройства, говорить о решении этой проблемы пока рано. В целом по организации релейной защиты можно сделать два утверждения:

- режим заземления нейтрали практически не влияет на трехфазные и междуфазные короткие замыкания,

- режим заземления нейтрали играет решающую роль в процессах возникновения, развития и самопогасания однофазных коротких замыканий.

Можно отметить, что в качестве возможного способа выполнения защиты в сети с комбинированным заземлением нейтрали можно использовать способ, основанный на формировании величины, пропорциональной среднему значению произведения мгновенных значений напряжения и тока нулевой последовательности защищаемой линии.

Следующий важный аспект при выборе режима заземления нейтрали – надежность электроснабжения потребителей. Разработанных и утвержденных методик для оценки этого показателя в настоящее время не существует, поэтому сравнение сетей с различными режимами заземления нейтрали с точки зрения надежности электроснабжения можно только руководствуясь статистическими данными. По статистике только 30% повреждений в воздушных сетях и 60% в кабельных сетях с изолированной или резонансно заземленной нейтралью приводят к отключению потребителей. Число отключений потребителей в сетях с резистивно-заземленной нейтралью возрастает в 2–3 раза для воздушных сетей и в 1,5–2 раза для кабельных сетей [3]. Обеспечить необходимый уровень надежности электроснабжения в сетях резистивно-заземленной нейтралью можно за счет введения сетевого автоматического резервирования и ввода резервных линий электропередачи. Это, в свою очередь, увеличивает капитальные затраты.

Важным аспектом выбора режима заземления также является безопасность эксплуатации сети. Обеспечение вопросов безопасности эксплуатации энергетических объектов является первостепенной задачей при проектировании любого энергообъекта. Основным элементом, обеспечивающим безопасные напряжения прикосновения к оборудованию станций и подстанции в нормальном режиме работы электроустановок и при несимметричных замыканиях (в том числе КЗ) на «землю» является защитное заземление.

Требования по безопасности регламентируются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). К сожалению ПУЭ не регламентирует требования к защитным заземлениям сетей с резистивно-заземленной нейтралью, в которых известные защитные заземления не соответствуют требованиям безопасности. При проектировании распределительных сетей с низкоомным заземлением необходимо проектировать защитное заземление, основываясь на допустимых нормах напряжения прикосновения. В общем случае затраты на сооружение защитного заземления в сетях с низкоомным заземлением в 3–4 раза выше, чем в сетях с изолированной или резонансно заземленной нейтралью.

Апробированных методик проведения технико-экономического сравнения сетей с различными видами заземления нейтрали в настоящее время не существует [3, 4]. В качестве предложений для разработки такой методики можно рассматривать следующие разделы:

- стоимость эксплуатации проектируемой сети,
- расчетные ущербы, связанные с невыполнением заданных обязательств по надежности и качеству электроэнергии,
- расчетные ущербы от вероятного преждевременного выхода из строя электрооборудования при длительном однофазном замыкании,
- издержки на выделение поврежденного участка сети,
- издержки на отыскание мест повреждения,
- издержки на проведение оперативных переключений,
- издержки на обслуживание.

Выводы

Сети с резистивным заземлением нейтрали менее подвержены влиянию феррорезонансных перенапряжений, что повышает их надежность.

Принципиальным является не сам уровень перенапряжений при однофазных замыканиях на «землю», а его длительность воздействия. То есть при выборе режима нейтрали существенным является не ограничение перенапряжений, а быстрое и селективное отключение данного режима.

При проектировании электроустановок с низкоомным заземлением необходимо проектировать защитное заземление, основываясь на допустимых нормах напряжения прикосновения. В общем случае затраты на сооружение защитного заземления в сетях с низкоомным заземлением в 3–4 раза выше, чем в сетях с изолированной или резонансно заземленной нейтралью.

Резистивное заземление нейтрали значительно снижает надежность электроснабжения. Необходимы дополнительные технические мероприятия для обеспечения заданного уровня надежности электроснабжения.

Список литературы

1. Аношин О.А. Режимы заземления нейтрали. Распределительные сети XXI века: куда идти? // Энергоэксперт, 2008. – № 1. – С. 20–23.
2. Черногубовский З.П. Заземление нейтрали электрических систем высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1934. – 201 с.
3. Евдокунин Е.А., Челазнов А.А. и др. Общие требования по выбору режима заземления нейтрали в распределительных сетях 3–35 кВ // Энергоэксперт, 2008. – № 1. – С. 32–39.
4. Гриффель Д., Харманд Ю. Распределительные сети Франции. // Энергоэксперт, 2008. – № 1. – С. 40–47.

АНАЛИЗ БЕЗОТКАЗНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Буев П.В.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Вероятность безотказной работы системы электроснабжения $p_{СЭС}(t)$ в течение времени может быть определена по функции распределения ее наработки на отказ. Если наработку на отказ отдельного элемента рассматривать как длительность импульса, а время для восстановления как паузу элементарного потока, то определение функции наработки на отказ элемента сводится к задаче о совпадениях импульсов независимых потоков [1].

Плотность вероятности распределения наработки на отказ элемента определяется как

$$W(t) = \overline{\tau}_n \frac{d}{d\tau^2} \prod_{i=1}^{n} \frac{1}{\overline{\tau}_i} \int_{\tau}^{\infty} dx \int_{x}^{\infty} \omega_i(t) d\tau \,, \quad (1)$$

где $\overline{\tau}_n$ – математическое ожидание для наработки на отказ элемента системы.

Когда элемент в момент времени ζ оказывается исправным, то в интервале ζ, ζ+1 он будет работоспособен с вероятностью

$$p_{СЭС}(t) = \frac{1}{\tau_n} \sum \int_{t}^{\infty} dx \int_{x}^{\infty} W(t) dt \,. \quad (2)$$

Разрешаем (1) с учетом (2) относительно $p_{СЭС}(t)$

$$p_{СЭС}(t) = \prod_{i=1}^{n} \frac{1}{\overline{\tau}_i} \int_{\tau}^{\infty} dx \int_{x}^{\infty} \omega_i(\tau) d\tau \,.$$

Распределение наработки на отказ W(t) считают экспоненциальным, а значит

$$W(t) = \frac{1}{\overline{\tau}_n} e^{-\frac{t}{\overline{\tau}_n}} \,.$$

Математическое ожидание наработки на отказ отдельных элементов выражается в виде

$$\overline{\tau}_n^* = \int_0^{\infty} \tau \alpha(\tau) d\tau \,,$$

где α(t) – плотность вероятности наработки на отказ оборудования.

Рассматривая τ_n как математическое ожидание длительности импульса совпадения от совместного функционирования элементов в системе, его значение оценивается величиной, обратной средней частоте с бесконечно короткими паузами при $t \to \infty$

$$\overline{\tau}_n = \frac{1}{\overline{\mu}(\infty)}; \; p_в(t) = e^{-t\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\overline{\tau}_i}}; \; p_в^*(t) = e^{-t\int_0^{\infty} \tau\alpha(\tau) d\tau} \,.$$

Отметим, что при определении $p_{СЭС}(t)$ имеется в виду, что к моменту времени ζ элементы системы электроснабжения выработали часть своего ресурса. Поэтому для одномодальных распределений $\omega_i(t)$ выполняется условие

$$p_{нв}(t) \geq p_{СЭС}(t) \,, \quad (3)$$

где $p_{нв}(t)$ – вероятность работы невосстанавливаемой системы.

Неравенство (3) будет иметь место только в том случае, когда наработка на отказ элементов подчиняется экспоненциальному закону. В данном случае вероятностные параметры не будут зависеть от момента их оценки. Для требуемого уровня безотказности системы целесообразным является дублирование отдельных элементов или подсистем, т. е. использование избыточности (структурного резервирования). В качестве математической модели функционирования элемента технической системы принимаем стационарный импульсный поток [1]

$$X_s^*(z)(s = 1, 2, 3..., n) \,.$$

Время перехода на резерв равно $\Theta_р$, и его закон распределения считаем известным. Средняя частота появления пауз, меньших времени перехода на резерв и превышающих его имеет вид соответственно

$$\overline{\mu}_s^{'} = \overline{\mu}_s \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta_s(\Theta) d\Theta \,;$$

$$\overline{\mu}_s^{''} = \overline{\mu}_s - \overline{\mu}_s \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta_s(\Theta) d\Theta = \overline{\mu}_s \int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta \,,$$

где $\beta_s(\Theta)$ – плотность вероятности распределения восстановления отказавшего элемента.

На основании теоремы сложения вероятностей, вероятность пауз потока равна сумме вероятностей пауз [1]

$$\overline{p}_s = \overline{\Theta}_s^{'} \overline{\mu}_s^{'} + \overline{\Theta}_s^{''} \overline{\mu}_s^{''} \,,$$

где $\overline{\Theta}_s^{'}$, $\overline{\Theta}_s^{''}$ – математические ожидания пауз потока, меньшей и большей времени перехода на резерв $\Theta_р$.

С возникновением отказов элементов продолжительность отказов системы равна времени перехода на резерв. Представив функционирование системы с учетом структурной избыточности случайным импульсным потоком, вероятность отказов определится суммой вероятностей пауз меньших и равных по длительности времени перехода на резервирующие в системе элементы

$$\overline{p}_n = \overline{\Theta}_s^{'} \sum_{s=1}^{n} \overline{\mu}_s^{'} + \overline{\Theta}_s^{''} \sum_{s=1}^{n} \overline{\mu}_s^{''} \,.$$

Чтобы сравнить воздействие отказов элементов на функционирование системы без резерва или при его наличии, наряду с частотами необходимо установить остальные параметры потоков при оснащении системы структурной избыточностью. Для определения математического ожидания паузы с длительностями из потока исключим паузы, у которых длительности меньше времени перехода на резерв. Оставшиеся можно рассматривать как сумму двух составляющих: постоянной $\Theta_р$, и переменной $\Theta_{sпер}$.

Математическое ожидание длительности переменной составляющей имеет вид

$$\overline{\Theta}_s^{"} = \frac{\int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} (\Theta_s - \overline{\Theta}_р)\beta_s(\Theta)d\Theta + \overline{\Theta}_з \int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta}{\int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta}.$$

Решая относительно математического ожидания длительности паузы, меньшей времени $\Theta_р$, получим

$$\overline{\Theta}_s^{'} = \frac{\overline{\Theta}_s - \int_{\overline{\Theta}_з}^{\infty} (\Theta_s - \overline{\Theta}_з)\beta_s(\Theta)d\Theta - \overline{\Theta}_з \int_{\overline{\Theta}_з}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta}{\int_{\overline{\Theta}_з}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta}.$$

Отказы элементов, меньшие $\Theta_р$, вызывают остановки системы, равные длительностям этих отказов. В результате вероятность остановок во всей системе меньше вероятности отказов элементов на величину

$$\Delta\overline{p}_n = \sum_{s=1}^{n} \overline{\Theta}_s^{"}\overline{\mu}_s^{"} - \overline{\Theta}_р \sum \overline{\mu}_s^{"} =$$

$$= \sum_{s=1}^{n} \overline{\Theta}_{sпер}^{"}\overline{\mu}_s^{"} = \sum \overline{\Theta}_{sпер}^{"}\overline{\mu}_s \int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta .$$

При экспоненциальном распределении имеем [2]

$$\Delta\overline{p}_n = \sum_{s=1}^{n} \overline{p}_s \int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta = \sum_{s=1}^{n} \overline{\Theta}_s\overline{\mu}_s \int_{\overline{\Theta}_р}^{\infty} \beta_s(\Theta)d\Theta .$$

Таким образом, вероятность отказов системы со структурным резервированием определяется в виде

$$\overline{p}_{n.р} = \overline{p}_n - \Delta\overline{p}_n = (\overline{\mu}_n\overline{\Theta}_{n.n}) +$$

$$+\overline{\mu}_n\overline{\Theta}_{n.n} \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta(\Theta)d\Theta \approx \overline{\mu}_n\overline{\Theta}_n \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta(\Theta)d\Theta. \qquad (4)$$

Принятое в (4) нестрогое равенство справедливо, т. к. для иерархических технических систем всегда выполняется условие

$$\overline{\Theta}_n \gg \overline{\Theta}_р .$$

При экспоненциальном распределении пауз зависимость преобразуется к виду

$$\overline{p}_{n.р} = \overline{\mu}_n\overline{\Theta}_n \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta(\Theta)d\Theta .$$

Однако, наличие структурного резервирования не исключает число отказов системы. Частота отказов системы без резервирования равна частоте отказов при структурной избыточности.

Математическое ожидание длительности паузы потока системы со структурной избыточностью [2]

$$\overline{\Theta}_{n.р} = \overline{\Theta}_n \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta(\Theta)d\Theta .$$

Используя вероятность и математическое ожидание длительности паузы, можно задать параметры импульса искомого потока. Значение интеграла характеризует степень независимости работы системы от отказов ее элементов. Он выражает значение коэффициента связи структурного резервирования $К_с$

$$K_c = \int_0^{\overline{\Theta}_р} \beta(\Theta)d\Theta .$$

В итоге, для адекватной характеристики потока системы электроснабжения необходимо знать законы распределения длительностей пауз и импульсов, которые состоят из пауз, меньших и равных времени $\Theta_р$ перехода на резерв. Наряду со структурным резервированием в системах целесообразно использовать и информационно-временную избыточность. Структурная сокращает длительность отказов элементов, а информационно-временная их устраняет. В результате уменьшается частота отказов системы.

Список литературы

1. Шпиганович А.Н. Случайные потоки в решении вероятностных задач / А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, В.И. Бош. – Липецк: ЛГТУ, 2003. – 224 с.
2. Конюхова Е.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий / Е.А. Конюхова, Э.А. Киреева. – М.: Энергопрогресс, 2001. – 92 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОРЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА

Валь П.В., Торопов А.С.

Научный руководитель: Попов Ю.П., к.т.н., профессор

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», 660049, Россия, г. Красноярск, ул. Ленина, 70
E-mail: vallpv@yandex.ru

Прогнозирование электрической нагрузки на сегодняшний день является одним из наиболее востребованных направлений исследований в электроэнергетике. Согласно новым правилам функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности (НОРЭМ) участники рынка должны осуществлять прогноз своего планового почасового потребления и в сутки, предшествующие операционным, подавать администратору торговой системы (АТС) почасовую заявку электропотребления относительно каждого часа операционных суток. Некачественная подача предприятием-участником заявок на электроэнергию может привести к значительным экономическим потерям.

Таким образом, в настоящее время наиболее актуальной становится задача разработки методики краткосрочного прогнозирования параметров электропотребления предприятия с горизонтом прогноза до 48 часов вперед. В качестве одного из возможных вариантов основы такой методики может выступать модель авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС или ARIMA – Autoregressive integrated moving average).

Модель АРПСС, разработанная Боксом и Дженкинсом [1], позволяет прогнозировать нестационарные циклические временные ряды. Этот линейный метод чрезвычайно популярен во многих приложениях, и практика подтвердила его мощность и гибкость. Он также часто используется в качестве эталонного метода для последующего сравнения с ним новых моделей прогнозирования [2].

Сезонная модель Бокса-Дженкинса может быть представлена в виде:

$$ARIMA(p,d,q)(P_S,D_S,Q_S), \qquad (1)$$

где p – порядок составляющей авторегрессии; d – порядок разности дискретной производной; q – порядок скользящего среднего; P_S – сезонный параметр авторегрессии; D_S, – порядок сезонной разности (сезонной производной); Q_S – сезонный параметр скользящего среднего.

Нестационарные ряды, содержащие сезонные колебания, приводят к стационарным с помощью взятия последовательных разностей между соседними элементами (несезонные разности) и элементами, отстоящими друг от друга на значение периода сезонности S.

После взятия разностей ряд становится стационарным, удовлетворяющим условиям модели (1). Разностный ряд может быть представлен в виде:

$$\Delta y_t = \Delta^d y_t + \Delta^{D_S} y_t,$$

$$\Delta^d y_t = \alpha_1 \cdot y_{t-1} + \alpha_2 \cdot y_{t-2} + \cdots + \alpha_p \cdot y_{t-p} + \varepsilon_t - \beta_1 \cdot \varepsilon_{t-1},$$

$$\Delta^{D_S} y_t = y_1 \cdot y_{t-S} + y_2 \cdot y_{t-2S} + \cdots + y_{P_S} \cdot y_{t-P_S \cdot S} + \varepsilon_t -$$

$$- \delta_1 \cdot \varepsilon_{t-S} - \delta_2 \cdot \varepsilon_{t-2S} - \cdots - \delta_{Q_S q} \cdot \varepsilon_{t-Q_S S},$$

где $\Delta^d y_t$ – несезонная составляющая с параметрами p, d, q (1) и коэффициентами линейной регрессии α между элементами ряда y_t и коэффициентами линейной регрессии β между значениями ошибок ε_t; $\Delta^{D_S} y_t$ – сезонная составляющая с параметрами P_S, D_S, Q_S (1) и коэффициентами линейной регрессии γ между элементами ряда y_t и коэффициентами линейной регрессии δ между значениями ошибок ε_t.

Таким образом, модель АРПСС представляет собой множественную авторегрессию текущего значения элемента Δy_t. Для возврата к исходному временному ряду и получения прогноза нужно выполнить обратную операцию (интегрировать данные):

$$y_t = y_{t-1} + \Delta y_t.$$

Определение параметров модели (1) опирается на исследование графиков рядов, автокорреляционных функций (АКФ) и частных автокорреляционных функций (ЧАКФ). Данный этап является основным в получении модели, от принятых решений зависит адекватность модели и точность прогнозирования. Окончательный выбор модели остается за исследователем, хорошо представляющим предметную область.

Анализ качества прогнозирования модели АРПСС был произведен на примере горно-обогатительного комбината ООО «Сорский ГОК». Для анализа были использованы 2448 почасовых значений электропотребления за период с 22 октября 2008 г. по 31 января 2009 г. Временной ряд электропотребления приведен на рис. 1.

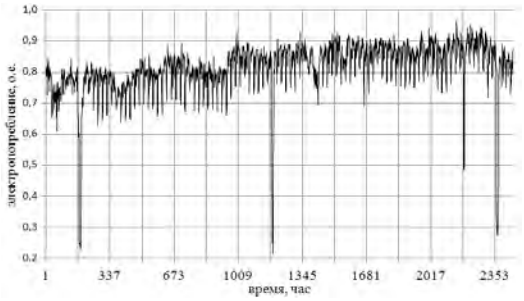


Рис. 1. Временной ряд электропотребления ООО «Сорский ГОК» с 22.10.2008 по 31.01.2009

Анализ временного ряда электропотребления предприятия выявил некоторые его особенности. Ряд содержит хорошо прослеживаемый суточный сезонный цикл продолжительностью 24 периода. Также наблюдаются циклы в пределах суток продолжительностью 8 и 12 периодов, вызванные характером работы предприятия в 2 смены по 12 часов и в 3 смены по 8 часов. Недельный цикл продолжительностью 168 периодов проявляется слабо, так как предприятие работает без выходных. Кроме того, ряд содержит провалы, вызванные временным выводом в ремонт части оборудования предприятия. В ходе предобработки исходных данных было произведено сглаживание провалов с сохранением суточного цикла.

Прогнозирование с помощью модели АРПСС производилось в системе STATISTICA [3]. В результате идентификации модели, оценивании ее параметров и проверки на адекватность с помощью анализа остатков был сделан вывод о наиболее оптимальной сезонной модели типа *ARIMA*(1,0,0)(0,1,1), (сезонный лаг $S = 24$).

В качестве меры оценки точности прогнозирования использовался традиционный показатель MAPE (mean absolute percentage error – средняя абсолютная относительная ошибка):

$$MARE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|,$$

где A_t – фактическое значение; F_t – прогнозируемое значение.

В ходе статистического эксперимента случайным образом были выбраны 10 периодов продолжительностью 48 часов, на которые строился прогноз при использовании различного количества дней предыстории. В табл. 1 приведены результаты прогнозирования (MAPE).

Таблица 1

Ошибка прогнозирования (MAPE), %

Дата	Предыстория, количество дней						
	40	35	30	25	20	15	10
01.01.09	2,66	2,59	2,49	2,46	2,54	2,83	2,41
16.01.09	2,52	2,46	2,58	2,60	2,64	2,79	2,66
04.01.09	1,41	1,35	1,44	1,41	1,35	1,46	1,40
06.12.08	1,28	2,66	1,37	1,85	1,60	1,27	1,30
12.12.08	2,43	2,42	2,47	2,43	2,43	2,48	2,49
14.12.08	1,58	1,57	1,59	1,60	1,65	1,61	1,79
29.12.08	2,70	2,64	2,69	2,58	2,59	2,63	2,59
01.12.08	5,84	5,96	5,85	5,81	5,95	5,97	5,91
08.01.09	1,47	1,45	1,46	1,45	1,71	1,46	1,49
29.01.09	4,06	4,53	4,20	4,75	4,54	3,99	3,55
Среднее	2,59	2,76	2,61	2,69	2,70	2,65	2,56

Среднее значение ошибки прогнозирования составляет 2,65 %. Анализ значений MAPE для моделей с различным количеством дней предыстории не выявил определенной зависимости между точностью прогноза и длиной предыстории. Наилучшие результаты прогнозирования были получены для 10 и 40 дней предыстории.

На рис. 2 представлены графики фактических и прогнозных значений электропотребления 16 и 17 января 2009 г.

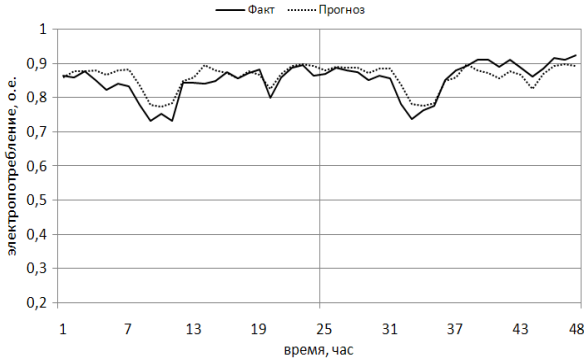


Рис. 2. Прогноз электропотребления на 16 и 17 января 2009 г.

Таким образом, в настоящее время методика краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии, отвечающая всем требованиям к показателям качества прогнозных расчетов, является необходимым условием для нормального функционирования крупного предприятия. Пример использования модели сезонной АРПСС для прогнозирования электропотребления крупного горнодобывающего предприятия показал, что модель АРПСС может быть использована в качестве основы такой методики.

Кроме того, результаты прогнозирования с помощью линейной модели АРПСС могут быть в дальнейшем использованы для оценки качества прогнозирования современных более сложных нелинейных моделей, таких как искусственные нейронные сети (ANN – Artificial Neural Network), нейро-нечеткие системы (ANFIS – Adaptive Network Fuzzy Inference System) и другие.

Список литературы

1. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. В 2 т. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974 – 608 с.
2. Taylor J.W., L.M. de Menezes, P.E. McSharry. A comparsion of univariate methods for forecasting electricity demand up to a day ahead. International Journal of Forecasting, 22 (2006). С. 1–16.
3. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учебное пособие / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 384 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Васильева О.В., Исаев Ю.Н., Кулешова Е.О.

Научный руководитель: Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

На рис. 1 представлена упрощенная модель электромагнитного привода вакуумного выключателя. Для описания процессов происходящих в электромагнитном приводе представим его как электромеханическое устройство. В данной работе рассматривается задача расчета индуктивности системы сложной конфигурации.

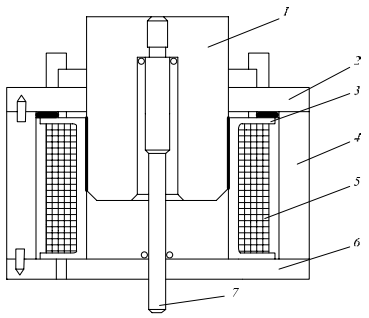


Рис. 1. Модель электромагнитного привода вакуумного выключателя: 1 – якорь (сталь); 2 – плита верхняя (сталь); 3 – каркас катушки (дерево); 4 – плита боковая; 5 – токовая обмотка из меди; 6 – плита нижняя; 7 – вал (дерево).

Для математического описания рассматриваемого устройства, необходимо иметь величины параметров $L_0, R, L(t), C$ электромеханической модели. Приведем их описание.

Из многообразия существующих методов расчета магнитных полей [1, 2], был выбран метод интегральных уравнений. Так как система является открытой, незамкнутой, сложной конфигурации, выбор метода обоснован.

Апробация метода была произведена на примере цилиндрической катушки с многослойной обмоткой прямоугольного сечения [3]. На рис. 2 изображено продольное сечение катушки и указаны ее геометрические размеры.

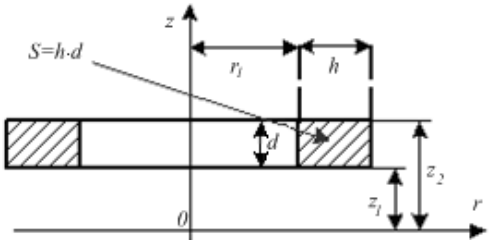


Рис. 2. Продольное сечение катушки: S – сечение обмотки; r_1 – внутренний радиус; h – высота обмотки; d – ширина обмотки; z_1, z_2– пределы интегрирования

Для нахождения индуктивности катушки L воспользуемся известным энергетическим определением (1):

$$L = 2W_m / I^2, \qquad (1)$$

где I – ток в катушке; W_m – энергия ее магнитного поля.

В свою очередь, энергию магнитного поля можно определить (2):

$$W_m = \frac{1}{2}\int_V \mathbf{A} j dV , \qquad (2)$$

где $\mathbf{A}$ – векторный потенциал поля; j – вектор плотности тока; V – объем, занятый токами.

Из (1) и (2) следует основное расчетное уравнение (3):

$$L = \frac{1}{I^2}\int_V \mathbf{A} j dV . \qquad (3)$$

В качестве модели была взята цилиндрическая катушка с постоянной площадью $S = 100\,мм^2$ и внутренним радиусом $r_1 = 10\,мм$. Варьировалась высота обмотки $h = r_2 - r_1$.

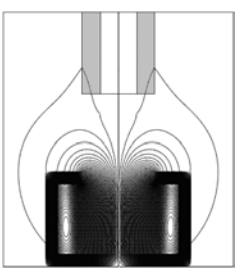
Методом интегральных уравнений была получена расчетная формула (4) для расчета индуктивности катушки на основе расчета электромагнитного поля:

$$L = \frac{10^9}{S^2}\cdot\int_{r_1}^{r_1+h} \boldsymbol{\rho}'\cdot\left(\int_{z_1}^{z_1+d} \mathbf{A}\left(\boldsymbol{\rho}', z'\right) dz'\right) d\boldsymbol{\rho}', \qquad (4)$$

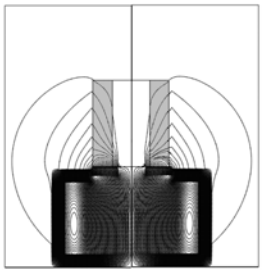
где S – площадь сечения; r_1 – внутренний радиус; h – высота обмотки; d – ширина обмотки; z_1 – нижний предел интегрирования по оси z; $\mathbf{A}\left(\boldsymbol{\rho}', z'\right)$ – функция распределения векторного потенциала, пространственный вид которого представлен на рис. 3; $\boldsymbol{\rho}'$ – радиус элементарной кольцевой трубки тока; z' – переменная интегрирования вдоль оси z; $d\boldsymbol{\rho}' dz'$ – сечение элементарной кольцевой трубки тока.

Таким образом, данный метод расчета был применен непосредственно к расчету индуктивности катушки модели электромагнитного привода вакуумного выключателя (см. рис. 1).

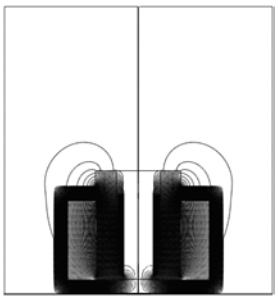
На рис. 3 представлено распределение векторного потенциала в зависимости от положения якоря.



а) $L = 7.1 \cdot 10^{-4}$ *Гн ;*



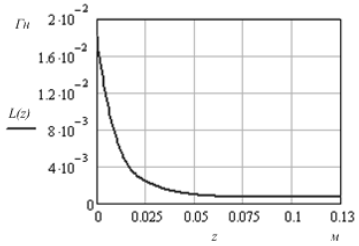
б) $L = 7.8 \cdot 10^{-4}$ *Гн ;*



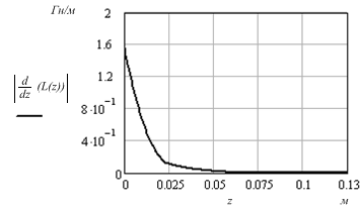
в) $L = 1.8 \cdot 10^{-2}$ *Гн*

Рис. 3. Распределение векторного потенциала поля при различном положении якоря и соответствующее значение индуктивности катушки

Динамику изменения расположения якоря по отношению к катушке можно проследить на рис. 4:



а



б

Рис. 4 а – зависимость индуктивности $L(z)$ *от положения якоря; б – зависимость производной индуктивности* $\left|\dfrac{dL(z)}{dz}\right|$

Получим систему нелинейных уравнений, которую будем решать численно, поэтому для повышения точности расчета сведем ее к системе уравнений первого порядка [4]:

$$\begin{cases} \dfrac{dz}{dt} = v \\ \dfrac{dv}{dt} = \dfrac{1}{m}\dfrac{i^2}{2}\dfrac{\partial}{\partial z}L(z) \\ \dfrac{d}{dt}i = \dfrac{-i\dfrac{\partial L(z)}{\partial z} + U_C - iR + U_0}{L(z)} \\ \dfrac{d}{dt}U_C = -\dfrac{i}{C} \end{cases}$$ в векторной форме

$$\rightarrow \quad \frac{d\mathbf{X}}{dt} = D(t, \mathbf{X}) \qquad (5)$$

Здесь $\mathbf{X} = \left[x_1 = z(t),\, x_2 = v(t),\, x_3 = i(t),\, x_4 = u_C(t)\right]^T$ – вектор состояния содержит следующие компоненты $z(t)$ – координату, $v(t)$ – скорость, $I(t)$ – ток и $u_C(t)$ – напряжение на конденсаторе, $D(t, \mathbf{X})$ – расширенная матрица.

Расчет дифференциальных уравнений был произведен методом Рунге-Кутта с фиксированным шагом. Число точек дискретизации временного интервала выбиралось равным $N = 3 \cdot 10^2$. Начальные данные выбирались нулевыми.

Таким образом, представлен промежуточный этап работы для разработки математической модели электромагнитного привода вакуумного выключателя.

Список литературы

1. Бинс К. и Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и мгнитных полей / пер. с англ. – М.: «Энергия», 1970. – 376 с., ил.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.: ил.
3. Александров М.Г. и др. Расчет электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1983. – 344 с., ил.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 1: Механика. – Наука, 1992. – 664 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Васильева О.В., Исаев Ю.Н., Сивков А.А.

Научный руководитель: Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

Целью работы является построение и исследование математической модели коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) и исследование физических явлений в ускорителе методами вычислительного эксперимента. Исследование осуществляется на примере модельного КМПУ, соответствующего реально используемого на практике устройства [1].

На рис. 1 представлена упрощенная модель КМПУ. Для описания процессов происходящих в КМПУ представим его как электромеханическое устройство, считая, что масса и сопротивление плазмы постоянны.

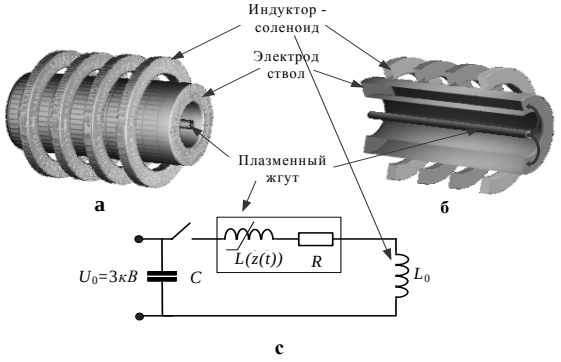


Рис. 1. а – упрощенная модель проводящей части плазменного ускорителя; б – его сечение; с – электротехническая схема замещения КМПУ

На том же рисунке приводится электротехническая схема замещения, в которой C – емкость батареи конденсаторов, $L(z(t))$ – индуктивность плазменного шнура, R – сопротивление пламенного сгустка, L_0 – индуктивность индуктора.

Для математического описания рассматриваемого устройства, необходимо иметь величины параметров $L_0, R, L(t), C$ электромеханической модели. Приведем их описание.

В электротехнической схеме батарея конденсаторов емкостью $C = 30 \cdot 10^{-3}$Ф заряжается до напряжения $U_0 = 3$ кВ. Энергия электростатического поля, запасенная в конденсаторе, передается в электрическую цепь. Сопротивление цепи будем считать равным $R = 10^{-3}$Ом. Далее необходимо рассчитать два следующих параметра L_0 и $L(t)$.

Индуктивность коаксиальной системы жгут-электрод $L(t)$ определяем из энергетического соотношения $W = I^2 L/2.$.

Запишем энергию системы:

$$W(z) = \mu \int \frac{H_{Пл}^2}{2} dV = \frac{I^2 \mu 2\pi}{2(2\pi)^2} \int_0^z dz \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{z\mu I^2}{4\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right), \quad (1)$$

здесь $\mu = 4\pi 10^{-7}$ – магнитная проницаемость воздуха, R_2, R_1 – радиусы электрода ствола и плазменного жгута соответственно, z – координата распространения жгута.

Из последнего соотношения (1) следует, что индуктивность можно записать в виде линейной функции координаты распространения:

$$L(z) = \frac{z\mu I^2}{4\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = L'z. \quad (2)$$

Постоянный коэффициент L' при координате z называется погонной индуктивностью (индуктивность единицы длины) [2]. После подстановки необходимых величин получаем его значение (3):

$$L' = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right). \quad (3)$$

Поставив необходимые значения, получаем величину погонной индуктивности $L' = 10 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

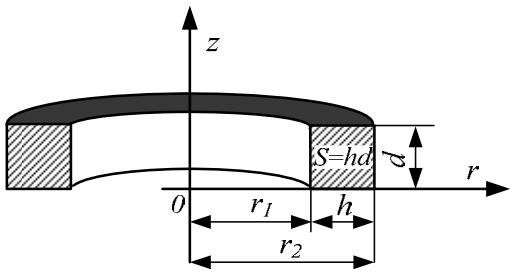


Рис. 2. Сечение проводника в виде кольца

Индуктор имеет сложную конфигурацию электродов, поэтому расчет индуктивности индуктора также проведен через известное энергетическое соотношение в соответствии с которым:

$$W_M = \frac{I^2 L_0}{2} \rightarrow L_0 = \frac{2W_M}{I^2}. \quad (4)$$

Здесь I – ток в цепи, W_M – энергия магнитного поля, L – индуктивность. В свою очередь энергия магнитного поля (4) при заданной конфигурации электродов и заданного распределения

токов можно определить, используя последовательность соотношений [1]:

$$W_M = \frac{1}{2}\int_V \mathbf{A}\boldsymbol{\delta} dV \;\rightarrow\; L_0 = \frac{2W_M}{I^2} = \frac{1}{I^2}\int_V \mathbf{A}\boldsymbol{\delta} dV, \quad (5)$$

где $\mathbf{A}$ – векторный магнитный потенциал, $\boldsymbol{\delta}$ – вектор плотности тока.

После несложных преобразований из (5) получим выражение для индуктивности одного кольца с прямоугольным сечением, с учетом того, что интегрирование производится только объему проводника [3] и, что ток в кольце равен $I = 1\,A$, (параметры кольца приведены на рис. 2):

$$L = \frac{2\pi}{S^2}\int_{r_1}^{r_2}\int_0^{z=d} A(z,\rho)\rho d\rho dz \quad (6)$$

При наличии четырех колец в индукторе в соответствии с рисунком 3 и (6) имеем [4]:

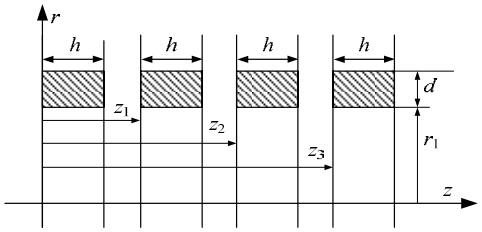


Рис. 3. Индуктор с четырьмя кольцами

$$L = \frac{2\pi}{S^2}\int_{r_1}^{r_1+d}\rho d\rho\left(\int_0^h dzA(z,\rho) + \int_{z1}^{z1+h} dzA(z,\rho) + \right.$$
$$\left. + \int_{z2}^{z2+h} dzA(z,\rho) + \int_{z3}^{z3+h} dzA(z,\rho)\right) \quad (7)$$

В результате расчетов получена индуктивность индуктора $L_0 = 8.764\cdot 10^{-7}$ Гн .

Таким образом, представлен промежуточный этап работы для разработки математической модели коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 1: Механика. – Наука, 1992. – 664 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – Наука, 1992. – 664 с.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 2: Теория поля. – Наука, 1992. – 664 с.
4. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений – М.: Наука, 1966. – 686 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА

Горлач С.Ю.

Научный руководитель: Ушаков В.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gosvetik87@sibmail.com

В настоящее время во многих статьях и выступлениях затрагиваются вопросы энергосбережения и экологии, практически, не касаясь вопросов взаимосвязи систем экологического и энергетического менеджмента, экологических аудитов и энергетических обследований и процессов нормирования энергетических потерь на промышленных и энергетических объектах. Однако, интеграция этих направлений становится и необходимостью и возможностью в процессе повышения эффективности энергетической политики государства [1].

Энергетическое обследование является первым и важнейшим этапом в разработке и реализации комплекса мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Основными целями энергетического обследования являются:

1) получение объективных данных об объёме используемых энергоресурсов;

2) определение показателей энергоэффективности;

3) определение потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности;

4) разработка перечня мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности и оценка их стоимости.

Правильно организованное энергетическое обследование из мероприятия по оценке эффективности использования энергоресурсов и энергии и проверки состояния энергосбережения превращается в элемент системы, призванной обеспечить стабильность функционирования предприятия/ организации за счет повышения надежности и поддержания ресурсов на необходимом уровне, а также укрепления и расширения рыночных позиций. Для этого необходимо, чтобы энергетические обследования проводились на основе комплексного анализа. Объектами исследования при этом являются не только технико-экономические показатели предприятий/организаций, но и инвестиционная, сбытовая и другие виды деятельности.

Несмотря на то, что на долю энергетики приходится преобладающая часть выбросов в атмосферу парниковых газов и других вредных веществ и их сбросов в воду и почву [2], в программе энергетического обследования нет показателей, которые в явном виде отражали бы уровень техногенного воздействия на окружающую среду обследуемого объекта. Последнее обеспечивается проведением экологического аудита предприятий и объектов топливно-энергетического комплекса, промышленных предприятий /организаций, который является важнейшим инструментом реализации природоохранной политики.

Приведем некоторые характеристики экологического аудита (введен ГОСТ Р ИСО 14031-2001):

• цель – оценка соответствия экологической эффективности предприятия определенным требованиям,

• сбор информации об экологической эффективности и тенденциях ее изменения во времени осуществляется на постоянной основе;

• периодичность проведения – 1 раз в год;

• нормированные показатели: предельно допустимые концентрации вредных веществ в окружающей среде, объемы размещаемых (захораниваемых) отходов;

• основной документ по итогам обследования – экологический паспорт природопользователя (ГОСТ Р 17.0.0.00 – 2000);

• заключительный документ – программа реализации природоохранных мероприятий [3].

Сопоставительный анализ целей, задач и технологии энергетического и экологического аудитов указывает на целесообразность во многих случаях проведения объединенного энергоэкологического аудита с целью установления приоритетности реализации эколого-энергетических решений с учетом экономических и социальных аспектов проблемы экологической и энергетической безопасности [1].

Предусмотренный действующей нормативно-правовой базой постоянный экологический мониторинг создает благоприятные условия для постоянного энергетического мониторинга предприятий/организаций, ежегодную процедуру нормирования удельных расходов топлива и технологических потерь электрической и тепловой энергии. Кроме того, статьи топливно-энергетического баланса легко идентифицировать с экологическими показателями (например, уровнями предельно допустимых концентраций) через условные единицы – тонны условного топлива. Сам топливно-энергетический баланс при этом должен быть включен в перечень обязательных документов при проведении экологического аудита. Увязывая эти процедуры, можно рационально распределять инвестиции в экологические и энергосберегающие мероприятия, а само обследование сделать более доступным по затратам (в сравнении с раздельным вариантом), что особенно важно для вовлечения в мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности предприятий /организаций, выполняющих энергообследование на добровольной основе.

Наибольшая интеграция в решении задач повышения энергетической и экологической эффективности на сегодня достигнута в структурах ЕЭС России, где перспективным путём обеспечения экологической безопасности признаны меры по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [4]. Интеграция обеспечивается:

• включением в программу обязательных энергетических обследований оценки эффективности осуществляемых природоохранных мероприятий, проверкой соответствия выбросов котлов экологическим требованиям;

• ежегодным нормированием удельных расходов и запасов топлива и технологических потерь электрической и тепловой энергии, которые являются предпосылкой к снижению техногенного воздействия на окружающую среду.

Результаты оценки работы потребителя топливно-энергетических ресурсов по критериям экологической и энергетической эффективности должны использоваться при выборе приоритетных эколого-энергетических решений.

В развитых странах проводится активная работа по нормативно-правовому обеспечению и стимулированию интеграции экологической и энергосберегающей политики. При этом речь идет, прежде всего, о промышленных предприятиях, которые не только оказывают непосредственное негативное влияние на окружающую среду технологическими процессами, но и своим чрезмерным энергопотреблением «загоняют» энергоснабжающие организации в напряженные режимы с максимальными техногенными воздействиями на окружающую среду.

Для того чтобы не дискредитировать эту перспективную идею, необходимы исследования условий, при которых объединение этих видов обследования (аудита) целесообразны, экономической эффективности объединения и сфер первоочередного внедрения энергоэкологического аудита.

Для его внедрения в практику необходимы дальнейшее совершенствование нормативно-правовой базы на федеральном уровне, подкрепленной методическими разработками и руководящими документами, подготовка соответствующих кадров. Выполнение этой работы должно поручаться «сборной команде», включающей энергоаудиторов и аудиторов – экологов. В настоящее время энергоаудиторы не владеют «инструментами» экспертизы экологического состояния обследуемого потребителя топливно-энергетических ресурсов, а аудиторы-экологи не владеют методами оценки связи производственной деятельности предприятия и состояния его объектов с показателями энергетической эффективности и формиро-

ванием энергетических балансов. В организационном плане для введения в практику энергоэкологического аудита необходимо выполнение следующих условий:

• статус обязательной компоненты производственно-технической документации, предъявляемой предприятием, подвергающимся экологическому обследованию, должен получить энергетический паспорт;

• программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности должна отражать экологические аспекты с экономической оценкой;

• документом, в обязательном порядке проверяемым в ходе экологического аудита, должен быть топливно-энергетический баланс базового и регулируемого периодов;

• энергетический паспорт должен включать результаты ежегодного нормирования потерь и удельных расходов топливно-энергетических ресурсов по итогам энергоэкологического аудита. Само нормирование должно быть объединено с процедурой выдачи разрешения на выбросы и размещение отходов с использованием технологического нормирования.

Разумеется, здесь, прежде всего, необходима разработка «механизма» заинтересованности со стороны промышленных предприятий – как основных потребителей в проведении обоих видов аудита. Например, это может быть дифференцирование тарифов на энергоносители, используемые в процессах повышения энергетической эффективности и экологической «привлекательности» предприятий, снижение налоговой ставки на затраты предприятий в экологические и энергосберегающие мероприятия и т. п.

На основании сопоставительного анализа целей, задач и технологий выполнения энергетического обследования и экологического аудита показано, что во многом они идентичны, что указывает на возможность их объединения в единый энергоэкологический аудит. Такое объединение позволяет удешевить процедуру (в сравнении с раздельным вариантом), сделать её более привлекательной, что особенно важно для предприятий/организаций, проводящих энергообследование на добровольной основе.

Список литературы

1. Завадский В.Г., Кошелев А.В. Экологические аспекты в энергосберегающей политике сетевых предприятий // Энергоаудит. – 2007. – № 3.
2. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 469 с.
3. Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Шкрабак В.С., Курмашев Г.А. Основы экологии. Аудит и экспертиза техники и технологии: Учебник для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2004. – 336 с.
4. Маркман Г.З. Компоненты эффективности использования электрической энергии и методы их определения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 302 с.

УПРАВЛЕНИЕ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ СИСТЕМЫ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ ФОРСИРОВКИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Горшков К.Е.

Научный руководитель: Гольдштейн М.Е., к.т.н., профессор

Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76
E-mail: StranikS_Scan@mail.ru

Появление короткого замыкания (КЗ) в энергосистеме приводит к снижению напряжения в ее узлах и как следствие к режиму форсировки синхронных генераторов (СГ). В работе [1] показано, что форсирование напряжения на выводах СГ является основным и зачастую единственным средством автоматического ограничения снижения напряжения. В связи с этим недоиспользование перегрузочных способностей СГ или ранний выход из режима форсировки значительно снижают устойчивость энергосистемы к развивающимся авариям.

В соответствии с ГОСТ 215-58.2000 к системам возбуждения турбогенераторов предъявляются требования в виде минимальных кратностей по напряжению возбуждения в начале форсировки и по току возбуждения в установившемся режиме, а именно $K_U = 2,5$, $K_I = 2,0$. Для генераторов с системами самовозбуждения (ССВ) при внешних коротких замыканиях данные требования не выполняются. С одной стороны, появление КЗ приводит к снижению напряжения на вводах тиристорного преобразователя (ТП) и уменьшению кратности форсировки K_U. С другой, несимметрия питающих напряжений ТП при несимметричных КЗ с отсроченным отключением или сериях КЗ приводит к неравномерному распределению длительностей работы тиристоров $\beta > \beta_0$, преждевременному нагреву до предельной температуры и соответственно меньшей кратности K_I [2].

В работе [3] отмечено, что невыполнение условия $K_U = 2,5$ может привести к лавинообразному снижению напряжения. Во избежание этого предложено увеличивать кратность форсировки по току с соответствующим сокращением длительности форсировки. Для реализации такого подхода целесообразно решить вопрос о равномерном распределении токов тиристоров при форсировке.

На рис. 1 приведены результаты исследования температуры наиболее нагруженного тиристора ССВ блока ТГВ-200-2М ($4\times$Т353$-800-32$, $T_{вод.} = 50$ °С, $I_{f0} = 1,1\times I_{fном}$, $t_ф$=25 с) при двухфазном на землю КЗ на отходящей ВЛЭП ($x_{ВЛЭП}/x_Т$=0,8) с различными схемами соединения обмоток трансформатора системы самовозбуждения (ТСВ). Во всех случаях из общего числа исключался один из параллельных тиристоров («резервный» тиристор) для исследования наиболее тяжелого режима работы ТП. Неравномерность распределения длительностей работы тиристоров составляла 14–20%. Из графиков видно, что при малой длительности КЗ температура тиристора увеличивается незначительно, в то время как при задержке отключения КЗ более чем на 4–5 секунд время форсировки может сократиться в 2–2,5 раза. Такая же ситуация наблюдается и при каскадных отключениях, вызванных сериями последовательных КЗ.

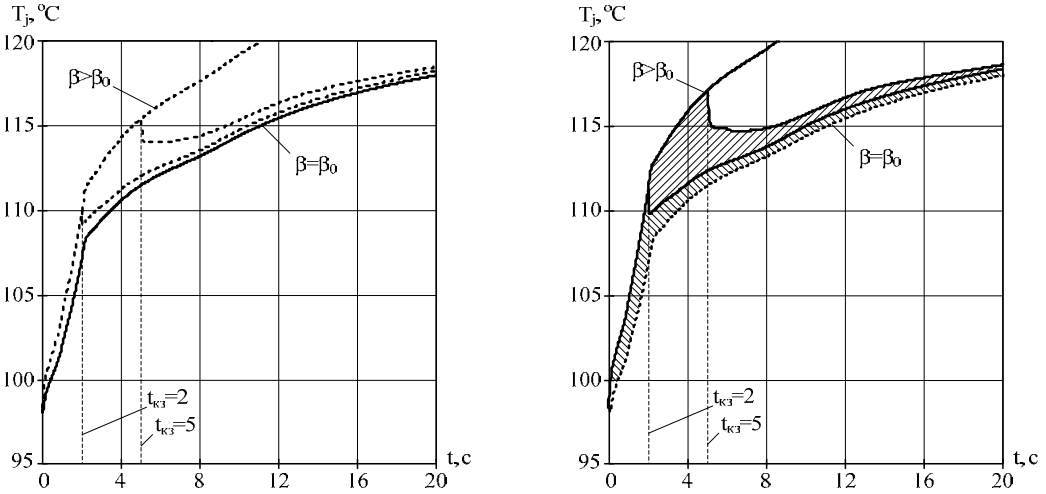


Рис. 1. Температура тиристоров ССВ блока ТГВ-200-2М при двухфазном на землю КЗ на отходящей ВЛЭП: а – ТСВ Y/Y-12; б – ТСВ Y/Δ-11

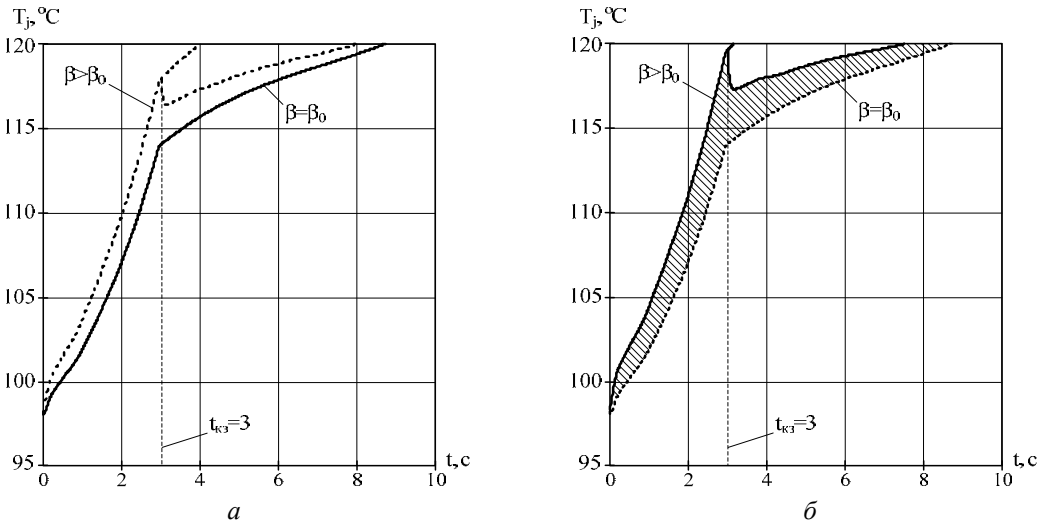


Рис. 2. Температура тиристоров ССВ блока ТГВ-200-2М при двухфазном на землю КЗ с кратностью $K_I = 2,25$ *: а – ТСВ Y/Y-12; б – ТСВ Y/Δ-11*

Тепловые потери в тиристорах на проводящем интервале непосредственно связаны с величиной тока возбуждения генератора. Увеличение тока ротора свыше двойного номинального значения приводит к более быстрому росту температуры тиристоров. В вязи с этим необходимо рассмотреть зависимость температуры тиристоров от кратности форсировки по току.

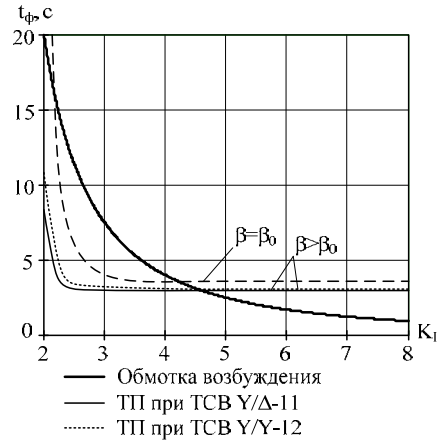


Рис. 3. Зависимость допустимой длительности форсировки от кратности тока ротора с учетом перегрузки тиристоров

На рис. 2 представлены графики температуры наиболее нагруженного тиристора при ограничении тока ротора до $2,25 \times I_{ном}$. В этом случае допустимая длительность КЗ не превышает 3 секунд. В ходе аналогичных исследований была получена зависимость длительности форсировки от величины кратности K_I (рис. 3). Таким образом, при длительных КЗ или каскадных авариях время форсировки синхронного генератора может оказаться значительно меньше нормируемого или возможного по условию нагрева ротора.

Для предотвращения преждевременного перегрева тиристоров ССВ предлагается выравнивание длительностей их работы за счет соответствующих способов управления тиристорным преобразователем [4]. Применение алгоритмов управления ТП с разными способами синхронизации с напряжениями питающей сети позволяет исключить дополнительный нагрев тиристоров и тем самым снизить ограничения на перегрузочную способность синхронных генераторов в режиме форсировки.

Список литературы

1. Алексеев, О.П. Противоаварийное управление в энергосистемах при глубоких снижениях напряжения, обусловленных дефицитом реактивной мощности / О.П. Алексеев, Б.К. Максимов // Релейная защита и автоматика современных энергосистем сверхвысокого напряжения: сборник докладов Международная конференция. Чебоксары, 10–13 сентября 2007 г. – Чебоксары, 2007. – Д. 4.7.
2. Горшков, К.Е. Перегрев тиристоров преобразователя системы самовозбуждения синхронного генератора при внешних несимметричных коротких замыканиях / К.Е. Горшков // Научный поиск: материалы первой научной конференции аспирантов и докторантов. Челябинск, 27–30 апреля 2009 г. Технические науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.– С. 246–250.
3. Гольдштейн, М.Е. Форсировка генераторов, оснащённых тиристорными системами самовозбуждения / М.Е. Гольдштейн, Е.И. Пахомов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2004. – Вып. 4. – № 1 (30). – С. 119–122.
4. Гольдштейн, М.Е. Токораспределение между тиристорами в преобразователе системы самовозбуждения синхронного генератора при внешних несимметричных коротких замыканиях в энергосистеме / М.Е. Гольдштейн, К.Е. Горшков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2009. – Вып. 11. – №15 (148). – С. 10–16.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАО «ЧИР»

Гончаров Е.Ю.

Научный руководитель: Платонова Е.В., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, г. Абакан, ул. Комарова, 15
E-mail: eplatonova@yandex.ru

В связи с требованиями энергоснабжающих организаций к четкому и достоверному формированию графиков электрических нагрузок, промышленные предприятия вынуждены уделять все большее внимание точному прогнозированию электропотребления. Поэтому задача разработки более совершенных и эффективных практических методик анализа и прогнозирования электропотребления для промышленных предприятий, работающих в условиях экономического кризиса и финансовой нестабильности, является сегодня особенно актуальной. Для выбора наиболее точной методики прогнозирования электропотребления предприятия необходимо проведение предварительного статистического анализа данных, который позволит определить характер предприятия.

Задача прогнозирования электропотребления рассматривалась на примере одного из промышленных предприятий Республики Хакасия ЗАО «Черногорский Искож Регенерат», которое является крупным производителем изделий из резины. В связи с сезонностью выпуска основной продукции предприятие осваивает также новые виды продукции, такие как: спорт-пол – спортивное покрытие для открытых площадок; универсальные спортивный наливной пол (покрытие) из полиуретана (покрытие для стадионов), рулонный гидроизоляционный материал (резиновая черепица).

Общая численность работающих на предприятии ЗАО «ЧИР» составляет 320 человек. Предприятие работает в четыре смены.

Для проведения статистического анализа по предприятию были собраны следующие данные за 2007, 2008, 2009 годы:

- электропотребление по предприятию в целом и в отдельности по цехам и помещениям;
- объемы выпуска продукции по видам производства;
- графики работы оборудования;
- данные по температуре воздуха в регионе, где расположено предприятие (из архивов GISMETEO);
- данные по тарифам на электроэнергию.

Значительный объем собранных данных необходим для прогнозирования электропотребления предприятия с достаточной точностью (небольшой погрешностью).

Инструментом для проведения статистического анализа данных были выбраны **Microsoft Office Excel 2003** и система **STATISTICA 6.**

В состав **Microsoft Excel** входит набор средств анализа данных (так называемый пакет анализа), предназначенный для решения сложных статистических и инженерных задач. Для анализа данных с помощью этих инструментов следует указать входные данные и выбрать параметры; анализ будет выполнен с помощью подходящей статистической или инженерной макрофункции, а результат будет помещен в выходной диапазон. Другие средства позволяют представить результаты анализа в графическом виде.

Процедуры системы **STATISTICA 6** имеют высокую скорость и точность вычислений. **STATISTICA 6 –** это интегрированная система анализа и управления данными, а также легка в освоении и использовании. Отвечает всем стандартам Windows, что позволяет сделать анализ высокоинтерактивным.

После сглаживания рядов данных было определено распределение значений переменных, проведен корреляционный и регрессионный анализ данных применительно ко всему предприятию,

Анализ показал, что электропотребление каждого цеха (производства) следует рассматривать индивидуально, т. к. влияние рассматриваемых факторов абсолютно различно.

Например, для производственных цехов влияющим фактором является объем выпуска продукции, для цеха прессформ – график электрооборудования.

Т. е. при прогнозировании электропотребления предприятия необходимо рассматривать предприятие не в целом, а отдельно все цеха и помещения, прогнозируя потребление по каждому из них с учетом индивидуальных критериев. Величина прогнозируемого потребления будет складываться из прогнозируемых потреблений структурных подразделений предприятия.

В ходе исследований также было выявлено, что на электропотребление влияет сезонный характер выпуска продукции предприятием, что требует учета сезонности в качестве одного из критериев (возможно прогнозирование электропотребления отдельно по месяцам).

Например, для того чтобы определить зависимость между электропотреблением и объемом выпуска продукции (производственных цехов), используем парную корреляцию.

Функции КОРРЕЛ и ПИРСОН вычисляют коэффициент корреляции между двумя переменными измерений, когда для каждой переменной измерение наблюдается для каждого субъекта N (пропуск наблюдения для субъекта приводит к игнорированию субъекта в анализе). Корреляционная матрица показывает значение функции КОРРЕЛ (или ПИРСОН) для каждой возможной пары переменных измерений.

За февраль 2007, 2008, 2009 г., соответственно, коэффициент корреляции (зависимость между электропотреблением и объемом выпуска продукции по основному производству) равен соответственно 0,71; 0,81; 0,89. Это свидетельствует о том, что зависимость электропотребления производственных цехов от объема выпуска продукции существенна и такой фактор позволит более точно получить прогноз электропотребления.

А вот зависимость между электропотреблением и температурой воздуха, где коэффициент корреляции равен –0,13; –0,02; –0,11, свидетельствует о том, что данная зависимость не существенна. Т. е. в модель прогноза данный фактор не включаем.

Линейный регрессионный анализ заключается в подборе графика для набора наблюдений с помощью метода наименьших квадратов.

На рис. 1 изображен график подбора, полученный в **Microsoft Office Excel 2003**.

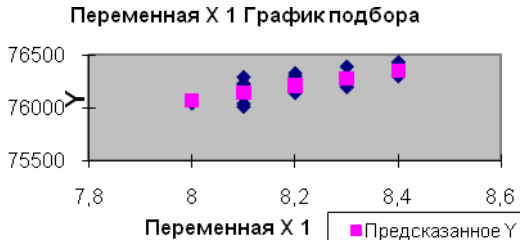


Рис. 1. График подбора

Регрессия используется для анализа воздействия на отдельную зависимую переменную значений одной или более независимых переменных.

Линейная регрессионная модель с несколькими независимыми переменными:

Y(i) = B1*X1(i) + B2*X2(i) + … + BK*XK(i) + B0 + e(i),

где **B0, B1, B2, … BK** – неизвестные коэффициенты, **Y(i) –** зависимая переменная **Y** в **i**-м опыте , **X(i) –** независимая переменная **X** в **i**-м опыте, **e(i)** – ненаблюдаемые случайные величины (наблюдаются только **X(i), Y(i), 0<i<=n**) со средним 0 (как говорят, являются несмещенными) и неизвестной дисперсией, не меняющейся от опыта к опыту.

Регрессионный анализ данных позволил более точно определить зависимость переменных.

Например, предсказанные значения электропотребления производственных цехов (рассматривались факторы объема продукции и температуры воздуха) за февраль 2007 года отличались от фактических в среднем на 0,1%, что является неплохим результатом.

Все коэффициенты в полученной таблице результатов значимы, так как p-значения для каждого из них меньше заданной величины 0,05. Статистическая значимость результата представляет собой оцененную меру уверенности в его правильности.

Говоря проще, не на статистическом жаргоне, уровень значимости показывает, насколько значим для вас полученный результат.

Выражаясь формально, уровень значимости, или, как еще говорят, p-уровень, – это показатель, находящийся в убывающей зависимости от надежности результата. Более высокий p-уровень соответствует более низкому уровню доверия к найденной в выборке зависимости между переменными. Именно p-уровень представляет собой вероятность ошибки, связанной с распространением наблюдаемого результата на всю популяцию. Например, p-уровень = 0,05 (то есть 1/20) показывает, что имеется 5%-я вероятность того, что найденная в выборке зависимость между переменными является лишь случайной особенностью данной выборки. На рис. 2 изображено сравнение величин фактического электропотребления (Observed) и предсказанного (Predicted).

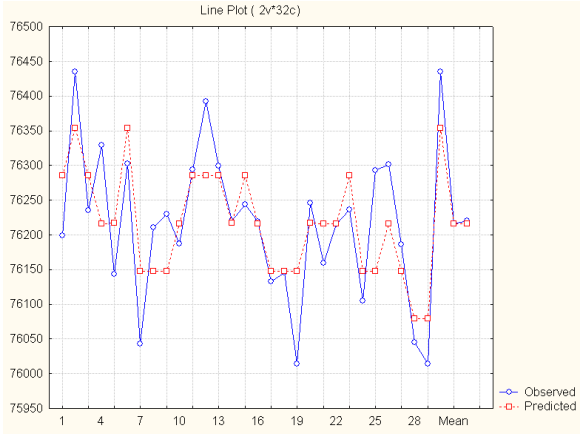


Рис. 2. Фактическое электропотребление (Observed) и предсказанное (Predicted)

В итоге средствами системы **STATISTICA 6** получили положительные результаты, с использованием которых осуществляем прогнозирование электропотребления предприятия. В качестве инструмента для прогнозирования был выбран пакет **ANFIS** программы **MATLAB 7.0.1**. Для сравнения результатов прогноза использовалась программа **DEDUCTOR** с приложением

Neural Analyzer.

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Гречко О.А.

Научный руководитель: Паюк Л.А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: infinity5000@mail.ru

Постоянно растущие потребности человечества в энергии сегодня удовлетворяются в основном за счёт переработки традиционного топлива. Количество этого топлива ограничено, и этот факт заставляет вести активные поиски альтернативных (возобнавляемых) источников энергии.

За последние годы значительно увеличился процент западных генерирующих компаний, инвестирующих большие деньги в проекты связанные с альтернативной энергетикой. Так, в конце 2009 г. года крупнейшая английская энергетическая компания Drax объявила о своих намерениях по строительству электростанций основанных на сжигании биомассы стоимостью проекта $3.2 млрд и в случае завершения он будет самым масштабным в мире. Португальский энергетический гигант EDP объявил об инвестиционной программе по строительству генерирующих станций на основе ветроэнергетики. Масштаб программы и ее география впечатляют – в ближайшие три года компания планирует расширить свой «ветряной» портфель с нынешних 4 ГВ до 16 ГВ причем экспансия будет происходить как в Европе, так и в Северной и Южной Америке [1].

Для того чтобы Россия стала активно развивать альтенативную энергетику, необходимо два условия: высокая потребность в электроэнергии и топливе и слабая обеспеченность запасами нефти и газа. До начала нового тысячелетия Россия не удовлетворяла ни одному из этих условий, а главное ни в коей мере не была обеспокоена вопросами экологии. Даже присоединение к Киотскому протоколу в 2005 г. подняло вопросы не столько экологического плана, а скорее торгово-экономического – сколько можно будет заработать на продаже российской квоты на выброс вредных газов [2].

«По мнению экспертов, активно развивать альтернативную энергетику в России сегодня непросто. Страна обеспечена традиционными видами энергоресурсов, которые пока обходятся гораздо дешевле альтернативных. К тому же развитие возобновляемых источников энергии сдерживается негативным влиянием мирового финансового кризиса. Тем не менее, 20 января 2009 года председатель правительства В.Путин подписал распоряжение, утверждающее основные направления государственной политики в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ), согласно этой программе долю альтернативной энергетики необходимо довести до 4,5% к 2020 году [3]. Подписание документа означает, что любой инвестор, вложившийся в строительство таких энергомощностей, будет получать фиксированный возврат средств от государства на каждый выработанный киловатт-час. Однако это должно стать лишь первым шагом. Иначе Россия рискует серьезно отстать в технологическом плане, в частности от отдельных европейских стран, где долю альтернативной энергетики к 2020 году планируется довести до 20 процентов в общем энергобалансе [4].

Одной из самых чистых отраслей энергетики является ветряная энергетика, производящих энергию из возобновляемых источников. Никакого загрязнения, никаких выбросов от сгорания ископаемых ресурсов.

Наша страна – одна из самых богатых в этом отношении стран: самая длинная на Земле береговая линия, обилие ровных безлесных пространств, большие акватории внутренних рек, озер и морей – всё это наиболее благоприятные места для размещения ветропарков. Россия имеет огромные территории и различные климатические зоны. Технический потенциал для ветроэнергетики составляет 6200 миллиардов киловатт часов, что в несколько раз превышает всё производство электроэнергии в стране.

Россия отстает от других стран как по установленным ветроэнергетическим мощностям, так и по темпам роста отрасли и занимает 51 позицию в рейтинге по показателю общей ветроэнергетической мощности. [5] Подобное положение вещей потенциально привести к тому, что Россия окажется безнадежным аутсайдерами в этой области и нам придется покупать лицензии на современные технологии.

В перспективных для применения ветроэнергетических установок (ВЭУ) регионах среднегодовая скорость ветра должна быть 4–6 м/с и более. В России значительные ресурсы ветровой энергии, сосредоточенные главным в тех регионах, где отсутствует централизованное энергоснабжение (см. рис. 1). География распределения ветроэнергетических ресурсов позволяет рационально их использовать как автономными ВЭУ, так и крупными ветроэнергетическими станциями (ВЭС) в составе местных энергетических систем.

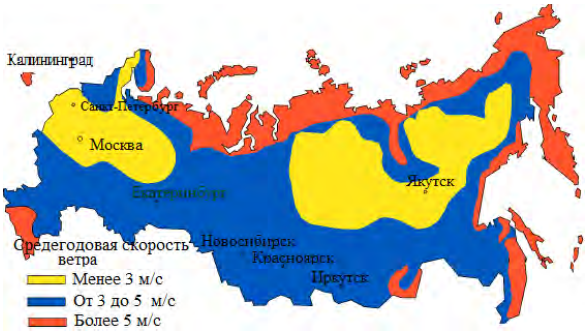


Рис. 1. Графическое распределение ветроресурсов в России

Современные ВЭУ – это машины, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию.

В настоящее время применяются две основные конструкции ветроагрегатов (см. рис. 2): горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветродвигатели. Мощность ВЭУ может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт. Рассмотрим устройство ветроэлектрической установки.

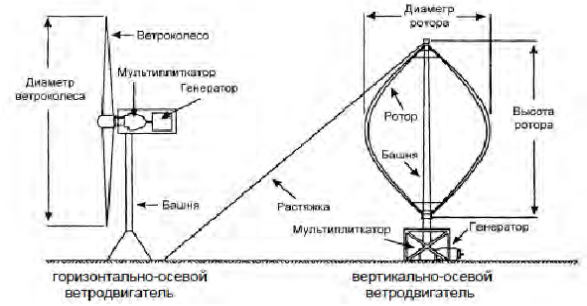


Рис. 2. Устройство ветроустановки

Ветроколесо (ротор), преобразующее энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 об/мин. Обычно для соединенных с сетью ВЭУ частота вращения ветроколеса постоянна. Для автономных систем с выпрямителем и инвертором – обычно переменная; мультипликатор – промежуточное звено между ветроколесом и электрогенератором, который повышает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает согласование с оборотами генератора. Исключение составляют ВЭУ малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах; в таких ветроустановках мультипликаторы обычно не применяются; башня, на которой установлено ветроколесо. У ВЭУ большой мощности высота башни достигает 75 м.

ВЭУ могут быть соединены с сетью и передавать вырабатываемую энергию в местную электросеть, или могут быть автономными, где потребитель находится в непосредственной близости от ветроагрегата.

Около 70% территории России не имеют централизованного электроснабжения по причине

большого расстояния между населённым пунктами. Стоимость одного километра ЛЭП около 1000 долларов, поэтому во многих случаях применение автономных ветроэлектростанций оправдано.

ВЭУ, подключенные к энергосетям, подразумевают связь с какой-либо существующей энергетической сетью, которая поставляет ветроустановке активную и реактивную мощность для обеспечения запуска, работы и контроля ветроагрегата. В ветропарках используются крупные ветроагрегаты мощностью от 200 кВт до 1,5 МВт и выше. При этом общая мощность ветропарка может достигать десятков и сотен мегаватт. Этот тип систем становится все более популярным в европейских странах, где, согласно Киотскому протоколу, поставлена цель снижения эмиссии парниковых газов.

Задачей данной работы является разработать проект строительства ВЭС на территории России. Выполнение этой работы можно разделить на 4 основных этапа: 1) выбор местоположения ВЭУ; 2) технико-экономическая оценка проекта; 3) определение стоимости проекта; 4) проектирование. Кроме того, каждый этап требует рассмотрения технического, коммерческого, экономического и законодательно аспекта.

Если до 2020 г. в России будет построены ветроэлектростанции суммарной мощностью в 7 ГВт, к 2040 г. дополнительные средства от экспорта замещенного газа могут составить 12–22 млрд евро, от экспорта электроэнергии – 17–30 млрд евро при затратах 11 млрд евро. Такие данные привел на конференции «Итоги проекта ЕС по возобновляемым источникам энергии в России» старший эксперт проекта Владимир Николаев. Как сообщил управляющий партнер компании I2BF Venture Capital Илья Голубович, ветровые электростанции мощностью 50–100 МВт будут построены в Ленинградской, Мурманской областях и Краснодарском крае. В настоящее время ведется оценка экономической целесообразности проекта, выбор места для строительства ветроэлектростанций.

В связи с этим подготовка специалистов в области возобновляемых нетрадиционных источников энергии становится важнейшим государственным делом.

Список литературы

1. Журнал «Компьютерра» http://www.computerra.ru / Алексей Беляков. Опубликовано 27 января 2009 года.
2. Федеральный закон «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата» от 22 октября 2004 года.
3. Аналитическое агентство «Cleandex» http://www.cleandex.ru/articles/2008/10/14/alternative-energy-market.
4. Департамент оценки «2К Аудит – Деловые консультации»
5. World Wind Energy Report 2008 г.

СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЙОНОВ СИБИРИ

Гушляк А.Г.

Научный руководитель: Гормаков А. Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tps@tpu.ru

Введение

Более полувека солнечная энергетика больше радовала исследователей своими сказочными перспективами, чем конкретным электричеством, текущим в энергосеть. Сегодня солнечные электростанции становятся серьезным источником энергии.

Использование солнечного электричества имеет много преимуществ. Это чистый, тихий и надежный источник энергии. Сегодня солнечное электричество широко используется. В удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, солнечные батареи используются для электроснабжения отдельных домов, для подъема воды и охлаждения лекарств. Эти системы зачастую используют аккумуляторные батареи для хранения выработанной днем электроэнергии.

Ежесекундно солнце излучает 88–1024 кал. или 370–1012 ГДж теплоты. Из этого количества теплоты на Землю попадает в энергетическом эквиваленте только 1,2 – 1012 Вт, т. е. за год 1018 кВт·ч, или в 10000 раз больше той энергии, которая сегодня потребляется в мире. По сравнению с ним все остальные источники энергии дают теплоты пренебрежимо мало.

Значительная часть территории России имеет благоприятные климатические условия для использования солнечной энергии. В южных районах продолжительность солнечного излучения составляет от 2000 до 3000 часов в год, а годовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность – от 1280 до 1870 кВт·час на 1 м^2. В наиболее солнечном месяце – июле – количество энергии, приходящейся на 1 м^2 горизонтальной поверхности, составляет в среднем от 6,4 до 7,5 кВт·час в день. Следовательно, широкое использование солнечной энергии может иметь здесь важное хозяйственное значение.

Согласно Европейскому стратегическому плану развития энергетики, ожидается, что к 2020 году Европа 15% всей необходимой электроэнергии будет получать от Солнца, 20% от ветра и 14% от остальных возобновляемых биоэнергетических источников. Консорциум из 12 европейских стран уже планирует построить огромные по площади электрические станции в Сахаре. Эта североафриканская генерирующая сеть должна будет обеспечить 15% потребностей Европы в энергии до 2050 года.

Лидером по использованию энергии Солнца в Европе является Германия, второе место занимает Турция. На третьем месте расположилась Греция.

В Германии была организована так называемая «семейная программа по использованию солнечной энергии», которая была нацелена на поддержку использования и аккумулирования солнечной энергии частными лицами, установке солнечных элементов на крышах домов. Япония также стремится повысить интерес к солнечной энергии, в ее планах – двукратное снижение стоимости солнечной энергии в течение 3–5 лет.

В сфере использования солнечной энергии Китай добился значительных успехов, что вызывает интерес во многих странах. За последние 10 лет Китай незаметно стал крупнейшим в мире производителем и пользователем гелиоконцентраторов. Общая площадь занимает 75 млн м^2 или 76 процентов всего мирового показателя, солнечной энергией охвачено 150 млн человек. Лидер ее промышленного производства в Китае – Китайская корпорация гелиоэнергии «Хуанмин» – в 2005 г. расширила площадь на 2 млн м^2, что превышает весь объем стран ЕС, или в два с лишним раза больше показателя стран Северной Америки. Общий объем внедрения солнечной энергии данной корпорацией за 10 лет составил 4 000 мегаватт, т. е. было сэкономлено более 20 млн тонн стандартного угля.

Эксперты считают, что ключевым моментом перехода к масштабному использованию солнечной энергии станет существенное снижение стоимости «добычи» этого неисчерпаемого природного ресурса.

Автономные солнечные установки

Очевидно, что невысокая плотность падающей солнечной энергии, которой характеризуется большинство регионов России, не позволяет напрямую эффективно использовать наработанные технологии фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в электричество. Действительно, даже самые совершенные фотоэлектрические солнечные модули с КПД преобразования 12–15%, будучи установленные неподвижно на крыше здания (загородного дома) и сориентированные в направлении на Юг, могут вырабатывать в течение суток только 1/3 своего номинала по двум очевидным причинам:

1. Низкая плотность падающего солнечного излучения, не превышающая 400–600 Вт/м^2, вместо номинальной – 1000 Вт/м^2, на которую рассчитывается солнечный модуль.

2. Влияние так называемого «косинус-фактора», связанное с суточным движением Солнца по небосклону, в результате которого максимум вырабатываемой энергии приходится только на время, близкое к полуденному, когда принимающая поверхность фотоэлектрического модуля ориентирована точно на Солнце.

Исправить положение с низкой плотностью падающей солнечной энергии может использование концентраторов солнечного излучения.

Смысл использования концентраторов заключен в том, чтобы с помощью несложных наклоненных к принимающей поверхности фотоэлектрических модулей зеркал искусственно удвоить плотность солнечного излучения и тем самым получать то количество выработанного электричества, на которое модуль рассчитан. Естественно такая доработка потребует еще и необходимости ориентировать принимающую поверхность фотоэлектрического модуля, снабженного концентраторами, в направлении на Солнце (рис. 1). Только в этом случае концентратор – помощник, а без слежения за суточным движением Солнца по небосклону использование концентратора не только неоправданно, но даже и вредно. В то же время, постоянно ориентируя фотоэлектрический модуль с концентратором на Солнце, мы избавляемся от влияния выше упомянутого «косинус-фактора» и в 1,5–1,7 раза увеличиваем «собираемость» падающей за светлое время суток солнечной энергии. Таким образом, использование в фотоэлектрической установке концентраторов солнечного излучения и суточного слежения за Солнцем позволяет втрое увеличить суточное количество вырабатываемой электрической энергии.



Рис. 1. Солнечная энергетическая установка с концентраторами

Конечно, такая установка будет стоить существенно дороже, чем солнечная фотоэлектрическая установка, составленная из неподвижно закрепленных солнечных фотоэлектрических модулей, за счет применения сложной конструкции поворотного механизма с системой автоматического слежения за Солнцем. Однако, затраты на приобретение такой установки могут вскоре окупиться за счет более ее высокой суточной энерговыработки, особенно в случае использования ее в северных районах России в период «белых ночей», что в ряде случаев может оказаться решающим фактором востребованности таких установок.

Кроме того, солнечные фотоэлектрические установки с концентраторами могут быть использованы для комбинированной выработки, как электрической, так и тепловой энергии при применении в качестве отражателей зеркал с селективным покрытием, отражающим на фотопанели только видимую часть солнечного излучения и пропускающим инфракрасную часть спектра на тепловые коллекторы, устанавливаемые под концентраторами.

Применение зеркал концентратора с селективным покрытием обеспечивает более благоприятные условия работы фотоэлектрических модулей, оберегая их от перегрева и, как следствие, падения КПД преобразования, а, с другой стороны, удешевляет конструкцию теплового коллектора и его эффективность, за счет естественной защиты поверхности коллектора зеркалами и постоянной ориентации его принимающей поверхности на солнце.

Заключение

Сегодняшние реалии возрастающих глобальных энергетических проблем делают все более актуальными вопросы перехода к альтернативным источникам энергообеспечения. Очевидно, что альтернативные источники энергии не смогут решить в ближайшие годы все проблемы, но ориентация на них и, в том числе, на развитие солнечной энергетики даст реальную возможность укрепить наши позиции в будущем и повысить энергетическую безопасность.

Тем не менее, обязательно придет время, когда безопасная солнечная энергия, являющаяся лучшим видом энергии, поможет надолго снять часть проблем, связанных с обеспечением тепловой энергией.

Список литературы

1. http://www.energy-bio.ru
2. www.ntpo.com
3. http://www.solarhome.ru
4. http://www.popmech.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Даянова Р.Ф.

Научный руководитель: Ганеев А.Р., к.т.н., доцент

Уфимский государственный авиационный технический университет,
450000, Россия, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12
E-mail: regina777@yandex.ru

В настоящее время техническое состояние оборудования в электроэнергетике оценивается как критическое по причинам физического и морального износа. По данным РАО «ЕЭС России» около 45% установленного парка трансформаторов и реакторов превысило ресурсный срок эксплуатации. К 2015 году более 60% трансформаторного оборудования выработают свой ресурс и потребуют замены. Это в равной мере касается и сетевого электрооборудования [1].

Понятно, что в современных экономических условиях говорить о скорой замене всего выработавшего ресурс трансформаторного оборудования не приходится. В связи с этим достаточно остро стоит вопрос об оценке технического состояния электрооборудования. Кроме предотвращения аварий, необходимым является продление срока эксплуатации вплоть до выработки реального, заложенного в конструкцию при изготовлении ресурса работы. Соответственно, возрастает роль методов диагностики электрооборудования в процессе эксплуатации (в режиме реального времени).

Полный пробой изоляционного промежутка электрической машины в обычных условиях эксплуатации возникает не сразу. Как правило, ему предшествуют микропробои, называемые частичными разрядами (ЧР). Эти микропробои возникают из-за наличия воздушных включений в изоляции трансформаторов. Такие разряды сопровождаются щелчками.

Воздействие ЧР ведет к старению диэлектриков. Время от возникновения первичных ЧР до полного пробоя составляет от нескольких недель до нескольких лет. Процесс развития ЧР имеет несколько стадий: начальные процессы ЧР, приводящие практически к восстановлению свойств

изоляции, т. е. обратимый процесс деструкции изоляции; неустойчивый процесс ЧР, при котором наблюдаются явления временного затухания ЧР; устойчивый процесс ЧР, приводящий к прогрессирующей деструкции изоляции. Таким образом, параметры ЧР и в особенности контроль их изменения являются важными диагностическими признаками для оценки технического состояния изоляции высоковольтных трансформаторов, что дает возможность обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития, планировать и осуществлять оптимальное проведение ремонтных работ электрооборудования.

В свете вышесказанного возникает необходимость разработки автоматизированной системы диагностики процесса возникновения ЧР в высоковольтном оборудовании.

Для снятия звукового сигнала с трансформатора необходим микрофон. Конденсаторные микрофоны имеют самые высокие качественные показатели: широкий частотный диапазон, малую неравномерность частотной характеристики, низкие нелинейные и переходные искажения, высокую чувствительность и низкий уровень шумов. Микрофон Brüel & Kjær type 4939 соответствует вышеуказанным показателям. При этом он успешно противостоит воздействиям агрессивной окружающей среды и работоспособен при высокой температуре.

При колебаниях мембраны микрофона емкость конденсатора меняется с частотой воздействующего на мембрану звукового давления, в связи с чем в электрической цепи появляется переменный ток той же частоты и на нагрузочном сопротивлении возникает падение напряжения, являющееся выходным сигналом микрофона.

К микрофону подключается микрофонный предварительный усилитель brüel & kjær type 2633.

Для выявления ЧР производится математическая обработка полученного сигнала и реализуется устройство на базе цифрового сигнального процессора для диагностики ЧР в высоковольтном оборудовании.

Исходя из вышесказанного, получаем, что для выявления ЧР необходимо решение следующих задач:

1) с помощью измерительного микрофона снять сигнал;

2) разработать алгоритм математической обработки сигнала;

3) создать ПО на основе разработанного алгоритма;

4) реализовать автономное устройство для диагностики оборудования.

Рассмотрим процесс работы маслонаполненного трансформатора. В качестве объекта анализа принят участок масляной изоляции неисправного трансформатора. Сигнал, снимаемый с помощью микрофона, представлен на рис. 1.

Исходная характеристика представляет собой график изменения напряжения во времени, полученный с выхода микрофонного усилителя.

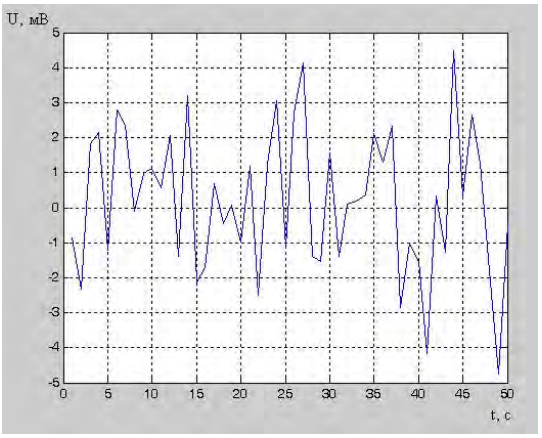


Рис. 1. Результат измерения акустической характеристики маслонаполненного трансформатора в случае возникновения ЧР

Для выявления ЧР разработан обобщенный алгоритм, представленный на рис. 2.

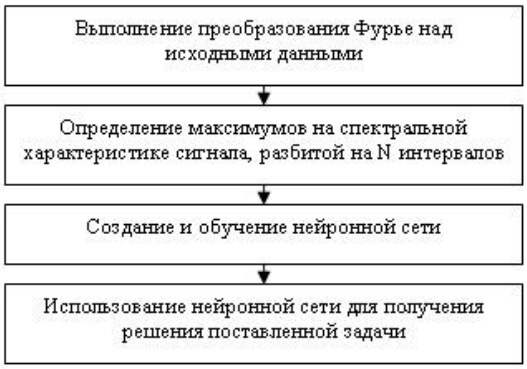


Рис. 2. Обобщенный алгоритм

Для выделения частот регулярных составляющих сигнала, зашумленного помехами воспользуемся преобразованием Фурье (рис. 3.).

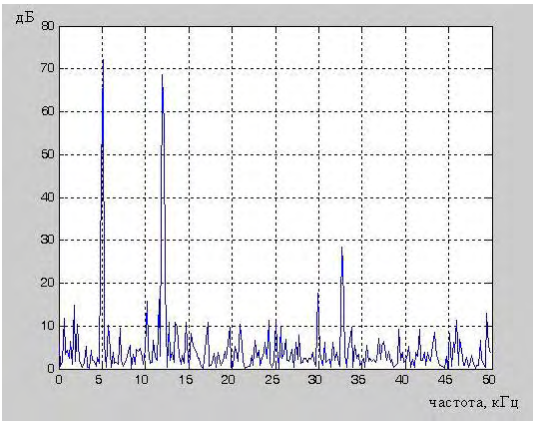


Рис. 3. График преобразования Фурье исходной характеристики

Для диагностики ЧР воспользуемся аппаратом искусственных нейронных сетей (ИНС). Основным достоинством ИНС является способность

создавать обобщения, т. е. способность получать обоснованный результат на основании данных, которые не встречались в процессе обучения [2].

Разобьем ось абсцисс на N равных промежутков и найдем на каждом из отрезков максимум функции. Этот массив из N чисел подается на вход нейронной сети.

Для решения поставленной задачи формируется трехслойная сеть обратного распространения на основе многослойного персептрона, включающая N нейронов во входном слое (по числу компонент входного вектора), m нейронов во втором слое и 2 нейрона в выходном слое (по числу компонентов выходного вектора). Это обеспечивает быстрое обучение, и не требует много ресурсов. В качестве метода обучения выберем алгоритм обучения с учителем.

Обучающая выборка формируется на основе анализа результатов измерений дефектного и нормально-функционирующего оборудования.

После обучения на вход нейронной сети подается входной вектор и на выходе выдается бинарный логический результат.

В перспективе предполагается разработка устройства на основе цифрового сигнального процессора (ЦСП) реализующего вышеприведенный алгоритм. ЦСП должен быть высокоскоростным, недорогим, с возможностью обработки акустических сигналов.

Существует большое количество разнообразных видов ЦСП, разработанных различными фирмами-производителями. Существенное влияние на применимость процессоров оказывает наличие средств разработки и готового программного обеспечения (библиотек).

Отладочная плата TMDSEZD2812-0E компании Texas Instruments с встроенным ЦСП TMS320F2812 решает широкий спектр задач. Данный процессор используется в системах обработки сетевых протоколов, видеоизображения, аудиоидентификации, мультиканального доступа; для построения высокопроизводительных промышленных приложений, а также систем обработки широкополосных высокоскоростных сигналов [3].

В стартовый набор TMDSDSK6455 входит среда разработки Code Composer Studio для C2xx.

Анализируя достоинства данного стартового набора, он может служить хорошей основой для разработки системы диагностики высоковольтного оборудования методом ЧР.

Список литературы

1. Научные и практические аспекты функционирования энергосистем и развития базы отечественного трансформаторостроения / Никитин О.А. // Электро. – 2002. – №4.
2. Портал искусственного интеллекта. http://www.aiportal.ru <12.2009>.
3. Цифровые сигнальные процессоры компании Texas Instruments. http://focus.ti.com <10.2009>.

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Довженко С.В.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Основным элементом системы электроснабжения служит высоковольтный выключатель. Выключатель является коммутационным аппаратом периодического действия. Модели, отображающие его функционирование в случае совершения коммутационных действий и в процессе работе при постоянно замкнутых контактах различны. В первом случае отказы связаны с разрушением контактной группы вследствие протекания повышенных токов (коротких замыканий), во втором – со старением металла и изоляционных материалов. Как в первом, так и во втором случаях возможно возникновение внезапных и постепенных отказов. Внезапные отказы обусловлены перекрытием изоляции, либо механическими повреждениями привода выключателя. Есть смысл представить выключатель как последовательное соединение двух элементов, в каждом из которых может происходить только один вид отказов. Исходя из классической теории вероятностей, имеем

$$p(t) = p_{vo}(t)p_{po}(t), \qquad (1)$$

где p(t) – это вероятность безотказной работы (ВБР) выключателя как коммутационного аппарата; $p_{vo}(t)$ – ВБР при внезапных отказах; $p_{po}(t)$ – ВБР выключателя при постепенных отказах.

Оперировать величинами $p_{vo}(t)$, $p_{po}(t)$ обычно затруднительно из-за значительного снижения точности вычислений. Длительность работы выключателя составляет тысячи и десятки тысяч часов. Продолжительность отказов не превышает единиц часов. Поэтому можно принять допущение, что длительность отказа (время восстановления) является бесконечно малой величиной по отношению к длительности безотказной работы. В результате целесообразно принять, что отказы не перекрываются во времени. Тогда

$$\overline{p}(t) = \overline{p}_{vo}(t) + \overline{p}_{po}(t), \qquad (2)$$

где $\bar{p}(t)$ – вероятность отказа выключателя как коммутационного аппарата; $\bar{p}_{vo}(t)$ – вероятность отказа при внезапных отказах; $\bar{p}_{po}(t)$ – вероятность отказа выключателя при постепенных отказах.

Появление внезапных отказов является для коммутационного аппарата внешним фактором, имеющим случайный характер. Он зависит от уровней негативных возмущений в системе электроснабжения предприятия. В качестве закона распределения внезапных отказов выключателя, как было показано в [1], принимаем

$$\bar{p}_{vo}(t) = 1 - \exp(-\lambda_{vo} t), \quad (3)$$

где λ_{vo} – это интенсивность внезапных отказов выключателя.

Математическое ожидание при этом распределении

$$M(t) = 1/\lambda_{vo}. \quad (4)$$

Постепенные отказы выключателя определяются параметрами его коммутационного ресурса. Отказ в данном случае характеризуется как неспособность элемента соответствовать потоку требований срабатывания. Источником этого потока могут служить элементы релейной защиты и контролирующие цепи, встроенные в коммутационный аппарат. Поток требований срабатывания включает также ложные срабатывания системы релейной защиты.

Отказ коммутационного аппарата возможно представить в виде несоответствия его действий потоку требований срабатывания с интенсивностью $\lambda_c(t)$.

Для силовых выключателей ресурс – это величина, зависящая от силы коммутируемого тока нагрузки. Для определения относительного изменения коммутационного ресурса при одном коммутационном действии используются зависимости, полученные на основании интерполяции кривых коммутационного ресурса, заданных производителем оборудования. Для вакуумных выключателей получим

$$\begin{cases} \Delta R = 1/N_{nom}, \text{ при } I_{kom} < I_{max}; \\ \Delta R = \left(N_{nom} e^{I_{nom}\frac{\ln(N_{min}/N_{nom})}{I_{izn}-I_{max}}} e^{-I_{kom}\frac{\ln(N_{min}/N_{nom})}{I_{izn}-I_{max}}} \right)^{-1}, \\ \text{при } I_{izn} < I_{kom} < I_{max}; \\ \Delta R = 1, \text{при } I_{kom} > I_{max}, \end{cases} \quad (5)$$

где ΔR – расход коммутационного ресурса аппарата за одну коммутацию; N_{nom} – номинальное гарантированное число коммутаций при отсутствии в цепи электрического тока; N_{min} – минимальное гарантированное число коммутаций при предельно допустимом коммутационном токе I_{max}. Соответственно, отказ выключателя произойдет, если

$$\sum_{i=1}^{k} \Delta R_i \geq 1. \quad (6)$$

Выражение (5) позволяет оценить изменение коммутационного ресурса аппарата за один цикл коммутации. Для определения же параметров безотказности выключателя необходимо иметь абсолютное количество включений (отключений) коммутационного аппарата. Если коммутируемый ток I_{kom} является постоянной по модулю величиной, использование выражения (5) не вызывает каких-либо существенных затруднений. На реально существующих объектах же значение коммутируемого тока служит величиной, содержащей случайную составляющую, которая подчиняется нормальному закону распределения [2].

Предлагается с целью расчета ресурса использовать численные методы математического моделирования. Если известны параметры распределения случайного процесса, то возможно восстановить исходный процесс численными методами.

В качестве входного параметра используется нормализованная случайная величина (т. е. лежащая в пределах [0; 1]), подчиняющаяся равномерному закону распределения. Ее получение возможно либо с использованием компьютерной техники, либо по специальным таблицам.

Общий алгоритм получения случайной величины, подчиняющейся нормальному закону распределения с заданными характеристиками, включает следующие этапы:

• получение дискретных значений нормализованной равномерно распределенной случайной величины a;

• преобразование случайной величины в соответствии с заданным законом распределения. Для получения нормального распределения используется формула Мюллера

$$b_i = \sqrt{-2\ln(a_i)}\cos(2\pi a_{i+1}),$$

где a_i и a_{i+1} – числа, подчиняющихся равномерному распределению; b_i – числа, соответствующие нормальному закону распределения;

• масштабирование полученной случайной величины в соответствии с заданными параметрами (m и σ – для нормального закона распределения) с последующим получением распределения модуля действующего коммутационного тока

$$I_{kom,i} = \sigma b_i + m,$$

где $m=I_{avg}$ – среднее значение коммутируемого тока;

$$\sigma = \frac{I_{max} - I_{avg}}{6}.$$

Цепочка последующего преобразования состоит из двух объектов. На основании вышеизложенного составляется алгоритм нахождения коммутационного ресурса выключателя. Его вид представлен на рис.

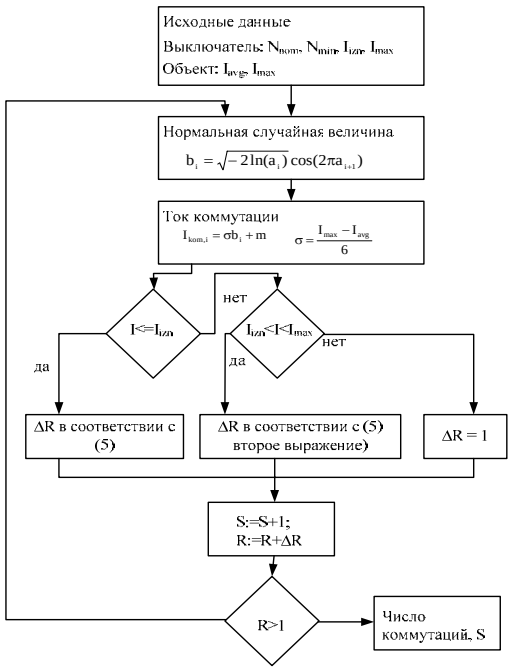


Рис. Алгоритм нахождения коммутационного ресурса высоковольтных выключателей

Как любой численный метод, алгоритм вычисления ресурса несет в себе погрешность вычислений. Для ее снижения расчет повторяют в цикле до достижения заданной погрешности, полученные результаты усредняют. Предложенный алгоритм позволяет определить закон распределения наработок на отказ при постепенных отказах коммутационного аппарата.

Список литературы

1. Челядин В.Л. Влияние негативных факторов релейной защиты на безотказность систем электроснабжения: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы / В.Л. Челядин. – Липецк: ЛГТУ, 2002. – 219 с.
2. Пашков, В.Н. Обеспечение эффективности функционирования систем электроснабжения листопрокатных производств с негативными возмущающими факторами [Текст]: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы / В.Н. Пашков. – Липецк, 2004. – 156 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОСТИ

Долиновская Р.В., Сапрыкин Ф.Е.

Научные руководители: Лобанова Г.Л., к.х.н., с.н.с., Коренев Я.И., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Reginochka1.88@mail.ru

В последнее время появилось достаточно много работ, посвященных использованию электрических импульсных разрядов для приготовления тонкодисперсных металлических материалов. Один из методов состоит в том, что в камеру, заполненную жидкостью и снабженную электродами, помещают дробленый металлический материал с размером частиц 3–5 мм. От высоковольтного источника на электроды подают импульсы с амплитудой около 500 В и с частотой от 500 до 1000 Гц (или более).

В результате в камере осуществляется электроэрозионное диспергирование металла. С целью определения количества и размера получаемых порошков металлов исследовано влияние межэлектродного расстояния на энерговыделение в рабочей камере и выход материала.

Схема камеры представлена на рис. 1.

Контроль пробоя осуществлялся путем фотографирования сверху вниз на одиночном импульсе (рис. 2). В зависимости от параметров импульса регистрируется от одной до четырех светящихся дорожек распространения разряда между электродами.

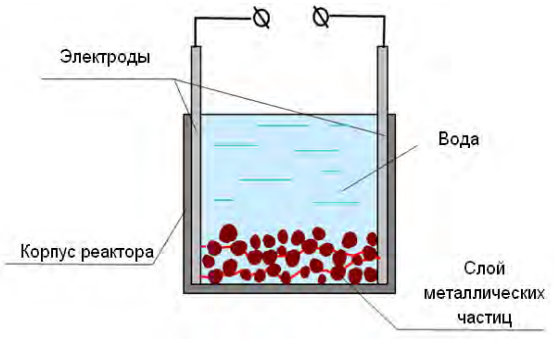


Рис. 1. Схема разрядной камеры

На рис. 3 приведена зависимость среднего значения энергии от количества вспышек на снимке для различных расстояний между электродами (60 мм, 85 мм и 100 мм). Из рисунка следует, что при выбранных параметрах импульса с увеличением межэлектродного расстояния величина выделенной энергии падает. Это объясняется потерями энергии в процессе и позволяет сделать вывод, что выбранному параметру импульса соответствует определенная величина межэлектродного промежутка, при которой обеспечивается оптимальный выход продукта. Выход продуктов

эрозии стальной загрузки в воде и влияние параметров электрических импульсов на дисперсность приведены в табл. 1.

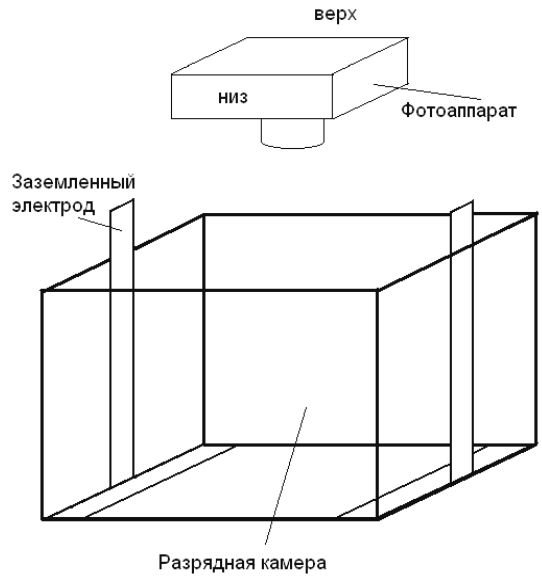


Рис. 2. Схема фотографирования

Исходя из экспериментально установленного значения удельного веса дисперсных частиц, полученных в электроразрядном реакторе дисперсных систем, по уравнению седиментации рассчитано время оседания частиц диаметром –15+1 мкм, –1+0,5 мкм, –0,5 мкм и проведен пипеточный анализ размера частиц. Из таблицы 1 следует, что частицы диаметром (–15+0,5) мкм составляют примерно 90 %, а частицы диаметром менее 0,5 мкм (золь) – около 10 % (по массе). Их соотношение незначительно зависит от частоты посылки и амплитуды единичного импульса.

Таблица 1

Влияние параметров электрических импульсов на дисперсность продуктов эрозии

№ п/п	Параметры импульса			Распределение частиц по размеру, %			Удельное кол-во, г / имп. x10^{-5}
	Аплитуда, кВ	Энергия, Дж	Частота, имп/сек	–15 + 1μ	–1+ 0,5 μ	–0,5 μ	
1	0,5	0,5	127	80,2	8,8	11,0	1,88
2	0,5	0,5	270	84,6	7,2	8,3	1,89
3	0,5	0,5	415	80,0	12,7	7,3	1,82
4	0,5	0,5	1000	71,6	10,6	17,8	2,0
5	3,6	1,7	250	82,2	6,0	12,8	3,0
6	5,0	3,0	200	84,4	5,5	12,2	3.46
7	6,0	4,0	200	81,7	7,9	10,4	4,5

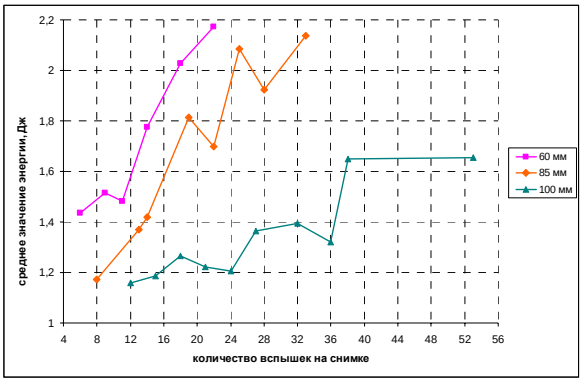


Рис. 3. Зависимость среднего значения энергии от количества вспышек на снимке для различных расстояний между электродами

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИРОВАННОГО МЕТОДА

Дурнов В.Г., Раевский Н.В.

Научный руководитель: Раевский Н. В., к.т.н., доцент

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 672040, Россия, г. Чита, ул. Магистральная 11
E-mail: durnov-vitalya@mail.ru

Проблема энергосбережения и эффективного использования электрической энергии (ЭЭ) на электрифицированном железнодорожном транспорте в настоящее время приобрела особую остроту. Одним из основных направлений энергетической стратегии до 2020 года является снижение расхода электрической энергии на тягу поездов посредством сокращения затрат на ее приобретение.

Железнодорожный транспорт находится в числе основных потребителей системы электрических сетей России. Свыше 7% потребляемой в стране электроэнергии идет на тягу поездов. Это составляет около 70 млрд кВт·час в год [1, 2]. Итогом реформирования электроэнергетики России становится функционирование сектора свободной торговли. Новая модель оптового рынка ставит перед потребителем ряд не решенных задач. В первую очередь необходимость заключается в выборе оптимальной тактики поведения на рынке. Одной из важных задач обеспечения функционирования электроэнергетики является планирование ожидаемого электропотребления (ЭП) в целом

по энергосистеме. Это дает возможность заключать договора на приобретение энергоресурсов у поставщиков ЭЭ по наиболее льготным тарифам. Однако на практике существует проблема неточного прогнозирования заявленной ЭЭ. При этом ошибка может составлять ±10%, что приводит к незапланированным издержкам заказчика ЭЭ в точке ее поставке.

В настоящее время ведутся исследования по целому ряду теоретических направлений, связанных с прогнозированием электропотребления на тягу поездов. При этом предъявляются повышенные требования к точности прогнозирования, что является одной из сложных задач анализа.

В целом тяговому электропотреблению характерно скачкообразное изменение, представляющее собой сложный нестационарный процесс. В свою очередь исследование процессов электропотребления целесообразно осуществлять в рамках теории случайных процессов. Процесс можно представить как последовательность n результатов наблюдения расходов ЭЭ W_1, W_2, W_3, …., W_n в моменты времени t_1, t_2, t_3, …., t_n. Последовательность наблюдений W_i, полученных в равностоящие моменты времени, будем называть временным рядом [3]. Данному поведению предшествуют индивидуальные технологические циклы работы железнодорожного транспорта. На все классы тягового ЭП, грузового, пассажирского и пригородного движения, влияют множество факторов [4].

Анализ результатов прогнозирования привел к необходимости изменения общего подхода к прогнозированию для целей работы железнодорожного транспорта на новой модели оптового рынка. В качестве основной задачи была определена необходимость совпадения заявленного и фактического потребления на тягу поездов с погрешностью не более двух процентов, что позволяет предприятию не нести убытков от штрафов за ошибочный заказ мощности. Для решения задачи предлагается применение адаптированной модели множественной регрессии.

Для обеспечения правильности прогнозирования следует выбрать те факторы, вклад которых в ЭП является значительным. Для построения математической модели использовались отчетные часовые статистические данные по расходу электроэнергии. Выбор таких факторов решается задачами регрессионного анализа, где необходимым условием считается выполнение предпосылки о нормальном распределении случайной величины. Исследована стохастическая зависимость электропотребления на тягу поездов Забайкальской железной дороги между основными факторами: участковой скоростью (V), температурой окружающей среды (Т) и грузооборотом (Р) для оперативного и краткосрочного периода упреждения. Выборочный коэффициент корреляции (табл. 1) показал наиболее тесную связь при оперативном периоде упреждения с грузооборотом, а при краткосрочном – температурой окружающей среды и грузооборотом.

Таблица 1

Корреляционная зависимость влияющих факторов

Период упреждения	Факторы	Коэффициент корреляции
оперативный	V	0,04
	T	0,01
	P	0,80
краткосрочный	V	0,22
	T	0,60
	P	0,82

В настоящее время на оптовом рынке ЭЭ применяется «рынок на сутки вперед» т. е. прогнозирование электропотребления на сутки вперед по часам. Значить в дальнейшем будем рассматривать условия для оперативного периода упреждения с одним изменяющемся фактором Р.

Классический регрессионный анализ опирается на гипотезу о возможности аппроксимации изучаемого процесса линейным уравнением с постоянными коэффициентами. В реальной ситуации взаимодействия переменных не остается неизменной. Оценки же коэффициентов отражают характер связи переменных лишь в среднем по выборке, поэтому трудно ожидать, чтобы они привели к хорошим оперативным прогнозам.

Парная и множественная регрессия с постоянными коэффициентами имеет ограниченное применение, поэтому в данных условиях предлагается применять способ адаптации постоянных коэффициентов [5].

Связь ВР электропотребления на тягу поездов с рядом грузооборота описывается уравнением:

$$W = b_0 \cdot P - b_1 .$$

Для адаптации коэффициентов, воспользуемся методом наискорейшего спуска, т. е. обновление весов будет осуществляться по следующему правилу:

$$B_н = B_c + 2 \cdot K \cdot e_{t+\tau} \cdot P_t$$

где $B_н$ – вектор новых коэффициентов; B_c – вектор старых коэффициентов; К – коэффициент (К>0); $e_{t+\tau}$ – ошибка прогнозного значения от фактического; P_t – текущее значение грузооборота.

Значение коэффициента определяется, как $K = \frac{\alpha}{2 \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{i?t}^2}$, где α – параметр адаптации и считается постоянным для данной математической модели, который был определен методом проб, т. е. в процессе «обучения» модели.

Исследование показало, что применение адаптивной модели парной регрессии приводит к хорошим результатам прогнозирования. Отклонения

прогнозного значения от фактического приведены в табл. 2. Графическое соотношение фактического ЭП и прогнозного изображено на рис. 1. Максимальная погрешность практически не выходит за пределы допустимого интервала ±5 %.

Таблица 2

Погрешность прогнозирования ЭП

Час	Электропотребление		Погрешность, %
	фактическое	прогнозное	
1	127854,80	126944,62	–0,71%
2	124168,70	124875,06	0,57%
3	126852,30	126681,86	–0,13%
4	114622,00	113765,08	–0,75%
5	118474,30	118673,06	0,17%
6	117591,40	115522,05	–1,76%
7	119978,50	120089,21	0,09%
8	119400,30	119834,64	0,36%
9	117508,40	113821,38	–3,14%
10	105760,90	105712,21	–0,05%
11	113496,80	113849,85	0,31%
12	107990,70	108022,80	0,03%
13	105267,10	105076,60	–0,18%
14	112519,90	114116,57	1,42%
15	111120,00	109329,89	–1,61%
16	118544,40	118094,41	–0,38%
17	115074,10	114252,37	–0,71%
18	107505,50	106610,27	–0,83%
19	98006,10	93378,97	–4,72%
20	98498,10	93971,42	–4,60%
21	101438,90	101471,00	0,03%
22	106952,20	114090,27	4,67%
23	122072,30	121673,48	–0,33%
24	110624,00	110614,10	–0,01%

В заключении отметим, что результаты, полученные методом адаптивного моделирования, могут давать ценную информацию о последовательном развитии электропотребления на железнодорожном транспорте и быть полезны для оперативного прогнозирования.

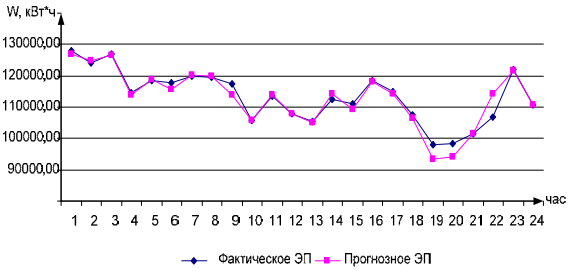


Рис. 1. Соотношение фактического и прогнозного электропотребления

Выводы

1. Наивысшее значение корреляции с электропотреблением для оперативного периода упреждения имеет грузооборот, для краткосрочного – температура окружающей среды и грузооборот.

2. Погрешность прогнозного значения от фактического находится в пределах ± 5%.

3. Методика адаптированного прогнозирования ЭЭ может быть рекомендована для применения к магистральным железным дорогам.

Список литературы

1. Мизинцев А.В. «Новые технологии реконструкции объектов тягового энергоснабжения», Евразия Вести IV 2008.
2. Федотов А.А. «Электрификация и стратегия обновления устройств электроснабжения железнодорожного транспорта», Евразия Вести IV 2008.
3. Звягин П.Н. «Прикладной анализ временных рядов»: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2008. – 98 с.
4. Дурнов В.Г., Раевский Н. В. Яковлев Д. А. «Прогнозирование электропотребления» «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 613 с.
5. Лукашин Ю. П. «Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов»: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КМПУ ЗА СЧЕТ ЕГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Герасимов Д.Ю., Евдокимов А.А.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., с.н.с.

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gerasimov@tpu.ru

Одним из недостатков наработки рабочего материала с поверхности ускорительного канала (УК) ствола коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) для динамического синтеза наноструктурированных сверхтвердых материалов на основе титана и нанесения композиционных покрытий, является значительная неравномерность электроэрозионного износа по его длине [1].

При многократной частотной работе укорителя происходит перегорание стенки ствола в месте максимума эрозии [2]. Это снижает эффективность использования ствола как расходного материала. В частности на титановых стволах (ВТ1-0), используемых для получения (TiC, TiN, $C_{0,3}N_{0,7}Ti$, TiO_2) максимальный пик эрозии, значительно превышающий ее среднее значение имеет место на начальном участке ствола длиной 40–50 мм.

В работе [1] показано, что наиболее значимым фактором в коаксиальной системе ускорения с сильноточным разрядом типа Z-пинч является

величина подведенной к ускорителю энергии W. Эпюры дифференциального износа поверхности УК Δm титанового ствола по его длине ℓ представлены на рис. 1.

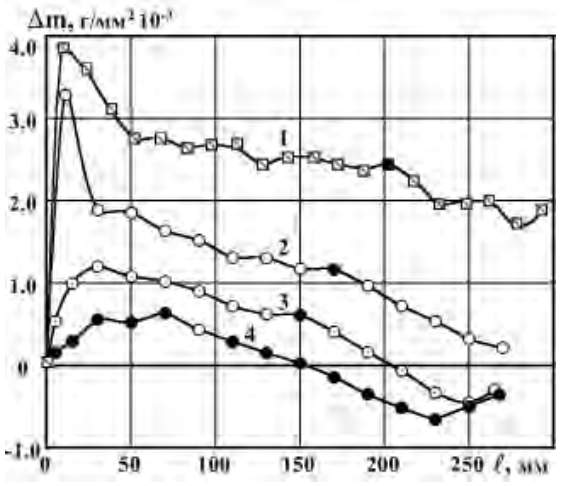


Рис. 1. Типичные эпюры дифференциального электроэрозионного износа по длине УК титанового ствола

Из анализа эпюр видно, что на начальном участке УК наблюдается сильная эрозия. Это является негативным фактором, так как при многократном использовании приводит к прогоранию ствола и, следовательно, малоэффективному использованию основного расходного материала.

В работе [1] показано, что одним из факторов, ограничивающих эрозию в рассматриваемой системе, является экранирование УК сплошной стенкой ствола. Уменьшение степени проникания магнитного поля соленоида снижает интенсивность вращения плазменной структуры в УК и захвата эродированной массы.

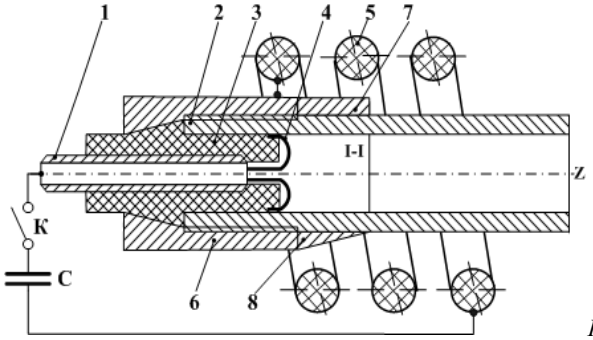


Рис. 2. Конструкция КМПУ: 1 – центральный электрод; 2 – электрод–ствол; 3 – изолятор центрального электрода; 4 – электро-взрывающиеся проводники; 5 – соленоид; 6 – заглушка; 7 – дополнительный цилиндрический экран; 8 – дополнительный конусный экран

С целью выравнивания электроэрозионного износа и исключения пика эрозии на начальном участке предложено усилить экранирование начального участка ствола длиной ~ 40÷50 мм, подверженного наиболее сильному износу. Установка цилиндрического дополнительного экрана 7 (рис. 2) из стали Ст.3 не отразилась на энергетических характеристиках работы КМПУ, как это видно из сравнения осциллограмм (рис. 3) опытов с одинаковыми энергетическими параметрами с дополнительным экраном и без него.

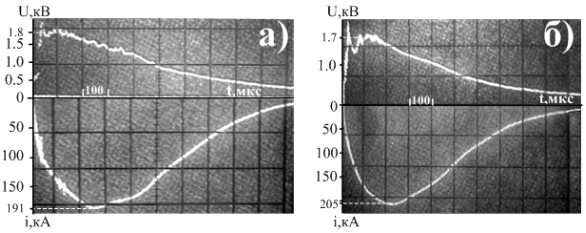


Рис. 3. Осциллограммы U(t) и i(t): а) при экранировании начального участка УК , б) без экранирования

Из сравнения эпюр дифференциального износа $\Delta m(\ell_{ук})$ по длине УК (рис. 4) видно, что основная задача – исключение узкого пика эрозии на начальном участке ствола была достигнута. Однако в целом эта мера не дала ожидаемого результата. Общий уровень эрозии на экранированном участке повысился и стал относительно постоянным. Но на большей длине произошло резкое снижение Δm до уровня, более низкого, чем в сравниваемом эксперименте без дополнительного экрана. Это можно объяснить резким усилением радиальной составляющей магнитного поля в УК в плоскости I-I (рис. 2) за счет ступенчатого уменьшения толщины стенки экрана, т. е. возникновением так называемой «магнитной пробки» на пути прохождения токоведущей плазменной структуры [3]. В результате повышения плотности энергии в этом объеме, увеличилась и эрозия стенки УК.

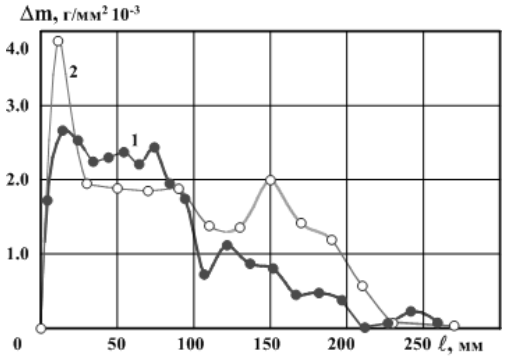


Рис. 4. Эпюры дифференциального электроэрозионного износа поверхности УК по его длине: 1) при экранировании начального участка УК, 2) без экранирования

Устранить этот эффект оказалось возможным при выполнении дополнительного экрана с конической внешней поверхностью 8 (рис. 2). Была проведена серия экспериментов на титановых стволах при следующих условиях: емкость конденсаторной батареи $C = 42 \cdot 10^{-3}$ Ф; зарядное напряжение $U_{зар} = 3.2$ кВ; длина и диаметр УК соответственно $\ell = 275$ мм и $d_{ук} = 21$ мм, без экрана и с использованием дополнительного экрана из Ст.3 с

диаметром основания конуса $d_к$ = 40 мм и длиной $\ell_к$= 50 мм. Результаты испытаний представлены в виде эпюр $\Delta m(\ell)$ (рис. 5). Видно, что при использовании дополнительного конусного экрана исключается пик эрозии на начальном участке ствола, кривая 1, что обеспечивает выравнивание электроэрозионного износа по длине ускорительного канала и максимальное использование титанового ствола в технологическом процессе.

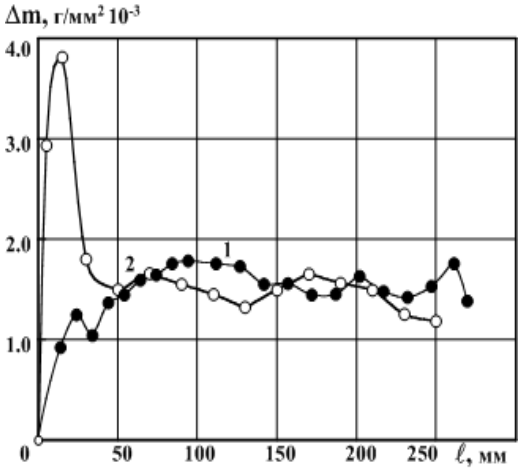


Рис. 5. Эпюры дифференциального электроэрозионного износа поверхности УК по его длине: 1) при экранировании начального участка УК с конусообразным экраном, 2) без экранирования

Заключение

Экранирование начального участка УК дополнительным ферромагнитным экраном с конусообразной внешней поверхностью позволяет выровнять эрозию по длине УК и значительно увеличить эффективность использования титанового ствола, как расходного материла, в технологическом процессе. На данное техническое решение получен патент РФ [4].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 09-08-01110.

Список литературы

1. Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С., Сивков А.А. Электроэрозионный износ канала коаксиального магнитоплазменного ускорителя / Том. политехн. ун-т.– Томск, 2007. – 104 с.: ил. – Библиогр.: 75 назв. – Рус. – Деп. в ВИНИТИ 29.01.07, №79-В2007.
2. Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С., Калдашев Б.К. Исследование электроэрозионного износа поверхности ускорительного канала титанового ствола при его многократном использовании и частотной работе КМПУ // Современные техника и технологии. XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / сборник трудов в 3 т. Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ. 24–28 марта 2008. – С. 26–28.
3. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972. – 391 с.
4. Патент на полезную модель № 61856 РФ. 7F41B 6/00. Коаксиальный магнито-плазменный ускоритель / Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С.; Сивков А.А. Приор. 12.05.2006. Опубликовано.10.03.2007.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Егорычев А.В., Бутина Ю.А.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В. д.т.н., профессор.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kekcmail@vtomske.ru

Как известно, частота является важнейшим показателем качества электроэнергии, который влияет как на работу электрических станций, так и на работу потребителей. Снижение частоты может приводить к тяжелым авариям, связанным с лавинообразным падением частоты и напряжения. При отсутствии вращающегося резерва единственно возможным способом восстановления частоты является отключение части наименее ответственных потребителей, что осуществляется с помощью автоматической частотной разгрузки (АЧР) [1].

Роль АЧР, как средства противоаварийной автоматики, в крупных энергообъединениях возрастает в силу следующих причин [2].

Во-первых, с объединением энергосистем на параллельную работу существенно увеличивается число узлов и районов, получающих мощность по связям с энергообъединением, то есть возрастает вероятность локальных дефицитов мощности.

Во-вторых, в условиях крупных энергообъединений существенно возрастает число возможных аварийных ситуаций, связанных с дефицитом мощности. Такие аварии могут быть вызваны самыми разными причинами: отключением линий, генераторов, выпадением из синхронизма отдельных или генераторов электростанций, нарушениями работы собственных нужд электростанций, неправильными действиями персонала и т. д.

В-третьих, условия работы энергосистем с точки зрения возможности развития лавины частоты в последние годы стали более тяжелыми из-за того, что основная часть мощности сейчас вырабатывается агрегатами блочных ТЭС высокого и сверхвысокого давления и АЭС, допустимая длительность работы которых при пониженной частоте меньше, чем у агрегатов ТЭС низкого и среднего давления с общим паропроводом.

В-четвертых, как указывалось выше, на АЧР часто возлагается задача создания условий для автоматического восстановления нормального режима энергосистемы, района и, в частности, обеспечения ресинхронизации, работы устройств автоматического повторного включения с улавливанием синхронизма и т. д.

Таким образом, в условиях современных крупных по мощности и сложных по конфигурации энергообъединений роль АЧР по-прежнему велика, но существенно меняются требования, предъявляемые к ней.

В последние годы резко повысилось внимание к вопросам АЧР в зарубежных странах, где имел место ряд крупных и очень тяжелых по своим последствиям аварий (в США, Франции, Канаде, Швеции и т. д.). Опыт этих аварий показал, что как принципы выполнения автоматики, так и масштабы ее распространения были неудовлетворительными. После тяжелых системных аварий за рубежом был проведен большой комплекс работ по противоаварийной автоматике, в том числе и по АЧР, однако общий уровень выполнения АЧР на основе используемых режимных принципов пока еще отстает от отечественного.

Используя представленные на рынке устройства АЧР, сложно построить эффективную разгрузку. Это связано, во-первых, с низкой точностью блоков измерения частоты, во-вторых, разгрузка по частоте и по напряжению выполняется раздельно, в-третьих, не учитываются предыдущий режим работы системы и текущие значения мощности отключаемых нагрузок [3].

К настоящему времени известно большое число публикаций, посвященных цифровым устройствам релейной защиты. Тем не менее работ, в которых рассматриваются проблемы и достижения в области устройств частотной разгрузки и содержатся методические рекомендации по использованию возможностей, предоставляемых микропроцессорными устройствами частотной разгрузки, недостаточно. Кроме того, существенно возросло количество и изменилась номенклатура цифровых устройств частотной разгрузки, находящихся в эксплуатации, расширился круг специалистов, связанных с работой таких устройств в энергосистемах. В связи с этим возникли определенные трудности в адаптации персонала к новым устройствам, получению информации о характеристиках устройств, особенностям работы с ними.

К началу нового тысячелетия практически все устройства, выполнявшие указанные функции, были построены с использованием реле на полупроводниковой элементной базе: РЧ 1, РЧ 2, РС 11 [4].

Принципиальными недостатками перечисленных выше типов реле являются отсутствие регистрации информации об изменении напряжения, частоты и других параметров при частотных авариях и не возможность включения их в автоматизированную систему управления (АСУ) энергосистемы.

Хотя устройства частотной автоматики, построенные с применением названных выше реле, позволяют реализовать общепринятые в настоящее время принципы действия систем частотной автоматики, однако разгрузка энергосистемы путем отключения потребителей по мере снижения частоты (так называемая разгрузка по отклонению частоты) при больших аварийных дефицитах активной мощности не может исключить возможности возникновения глубоких провалов частоты в отделившихся энергорайонах. Подтверждением этому служат примеры реальных частотных аварий, приведенные в работе [5] . Ускорение процесса разгрузки может быть обеспечено, прежде всего, за счет использования в устройствах частотной разгрузки более информативных параметров, например отклонения напряжения, скорости изменения частоты. Эти параметры позволяют предвидеть увеличение абсолютного значения как отрицательного, так и положительного баланса активной мощности.

Причинами, тормозящими внедрение разгрузки по скорости изменения частоты (производной по частоте) в отечественной энергетике, являются: отсутствие утвержденной методики выбора уставок разгрузки по скорости изменения частоты, обеспечивающей селективность отключения нагрузки различных категорий; отсутствие достоверных частотных динамических характеристик энергосистем и их районов; отсутствие достоверных значений коэффициентов, характеризующих регулирующий эффект нагрузки по частоте и напряжению в разное время суток и в разные сезоны.

Эти же причины сдерживают применение в устройствах частотной разгрузки сигнала по отклонению напряжения.

В цифровых устройствах частотной разгрузки типа БМАЧР (микропроцессорный блок АЧР и АПВ по частоте), одной из первых разработок НТЦ «Механотроника», на современном уровне реализован контроль частоты, скорости изменения частоты, напряжения. Опыт эксплуатации первого поколения цифровых устройств частотной разгрузки, доказал их эффективность и перспективность использования. Появились исследования, предлагающие использовать и другие параметры – вторую производную по частоте, скорость изменения напряжения [6].

Существует достаточно цельное представление о том, какой должна быть совокупность контролируемых параметров частотной аварии, их уставок и условий взаимодействия всех частей устройств АЧР. На практике такую совокупность стало принято называть «алгоритмом» частотной разгрузки. Различают алгоритмы АЧР-1 (разгрузка по отклонению частоты от номинального значения), АЧР-2 (разгрузка по мере увеличения продолжительности отклонения частоты от номинального значения), АЧР-С (разгрузка по скорости изменения частоты), АЧР-Н (разгрузка по отклонению частоты и напряжения), а также комбини-

рованные алгоритмы, объединяющие в различных вариантах все или отдельные из названных алгоритмов. Алгоритмы ЧАПВ (включение нагрузки, отключенной ранее по одному из алгоритмов разгрузки, после восстановления значения частоты) также не ограничиваются контролем частоты, а учитывают и напряжение в контролируемой сети.

В полном объеме эти алгоритмы реализованы в цифровых устройствах частотной разгрузки типа БММРЧ. Более того, в данных устройствах предусмотрено выполнение алгоритма автоматического ограничения повышения частоты АОПЧ. Высокая точность измерительной части устройства позволяет использовать его не только для частотной разгрузки, но и в схемах для делительной автоматики и других системах автоматизации, использующих сигналы по частоте, напряжению, скорости изменения частоты. Устройство оснащено цифровым регистратором процесса частотной аварии и может включаться в системы АСУ энергообъекта [6].

На данном этапе развития необходимо искать новые пути контроля режимных параметров и синтеза более совершенных алгоритмов автоматической частотной разгрузки энергосистем. Эти задачи решаются в настоящее время на кафедре Электроэнергетических систем и высоковольтной техники Томского политехнического университета.

Список литературы

1. Автоматика энергосистем: учебник для техникумов / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
2. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. – 2-е изд.– М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. Энергосистема: управление, конкуренция, образование. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции. – Т. 1. – 2008.
4. Хомяков М.Н. Реле частоты РЧ-1. – М.: Энергоиздат, 1982. – 64 с.
5. Александров В. Ф., Езерский В. Г., Захаров О. Г., Малышев В. С. Частотная разгрузка в энергосистемах. Ч. 2. Аварийные режимы и уставки. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 76 с.
6. Езерский В.Г., Захаров О.Г. Цифровые устройства частотной автоматики. Санкт-Петербург, НТЦ «Механотроника». – http://www.fsk-ees.ru

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ УЧЕТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Зацепина В.И., Шилов И.Г.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Как правило, счетчики реактивной энергии W_Q в настоящее время реализуют следующий алгоритм измерения реактивной мощности Q

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}\ , \qquad (1)$$

где S и P – полная и активная мощность.

На рис. 1 задана функциональная схема счетчиков, работающих по данному алгоритму.

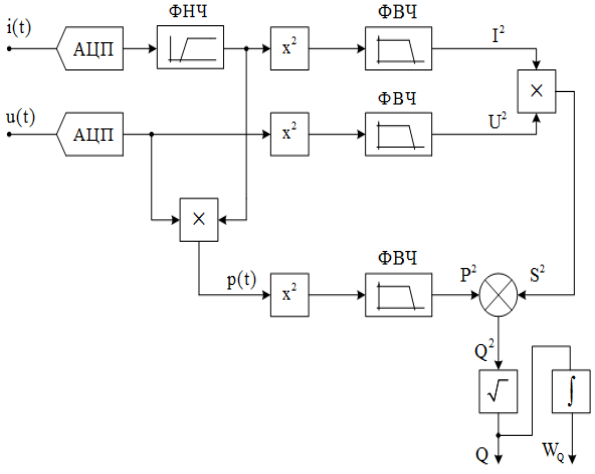


Рис. 1. Структурная схема счетчиков реактивной мощности

Сначала вычисляются отдельно полная и активная мощность, а затем только реактивная. Данный алгоритм вполне приемлем для «чистой» сети при отсутствии высших гармоник напряжения и тока. Однако, при их наличии, ситуация резко меняется. Полная мощность определяется как произведение действующих значений напряжения и тока

$$S = UI = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} U_j^2 \sum_{j=1}^{n} I_j^2}\ , \qquad (2)$$

где U_j и I_j – действующие значения напряжения и тока j-й (от 1 до n) гармонической составляющей.

Значения U и I определяются через U_j и I_j

$$U = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} U_j^2}\ ;\ I = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} I_j^2}\ . \qquad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим зависимость

$$Q = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} U_j^2 \sum_{j=1}^{n} I_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} U_j I_j \cos\varphi_j^2\right)}\ ,$$

где φ_j – угол фазового сдвига между напряжением U_j и током I_j j-й гармоники.

Окончательное выражение реактивной мощности с учетом высших гармоник напряжения и тока

$$Q = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} U_j^2 I_j^2 \sin\varphi_j + \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{l=k+1}^{n} U_k^2 I_1^2 - 2U_k I_l U_l I_k \cos\varphi_k \cos\varphi_l + U_1^2 I_k^2},$$

где U_k и I_k – действующие значения напряжения и тока каждой k-й гармоники; U_l и I_l – действующие значения напряжения и тока каждой l-й гармоники; φ_k – угол фазового сдвига между напряжением U_k и током I_k k-й гармоники; φ_l – угол фазового сдвига между напряжением U_l и током I_l.

Для реактивной мощности погрешность может достигать значительных величин. На это влияют и уровни гармоники, и фазовые углы сдвигов между напряжениями и токами. Поэтому, при учете реактивной мощности, для потребителя, получающего электроэнергию, не соответствующую нормам [1], погрешность значительно меньше, чем для генерирующего высшие гармоники в сеть. Таким образом, в случае учета реактивной мощности, потребитель, ухудшающий качество электроэнергии, производит наибольшую оплату за реактивную мощность.

Решить проблему погрешности в учете реактивной мощности можно с получением спектров сигналов тока и напряжения преобразованием Фурье и последующим перемножением не во временной, а в частотной области

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k} I_{m,k} \sin\varphi_k .$$

Решить проблему можно, применив преобразование Гильберта [2], которое позволяет выполнять квадратурную модуляцию сигналов, в каждой текущей координате определять огибающую, мгновенную фазу, частоту сигналов; выполнять анализ каузальных систем обработки сигнала. Примером такого разложения служит форма записи гармонической функции. Фаза является аргументом, который определяет, сколько периодов наблюдается от начального момента времени, значение функции в данный момент времени. Амплитуда не меняется во времени, а фаза линейно растет с коэффициентом пропорциональности (с частотой f), которая и определяет число периодов в единицу времени, – является постоянной. Амплитуда описывает энергию, фаза характеризует повторяемость процесса. Они могут рассматриваться как независимые, характеристики функции. Негармонический процесс x(t) также можно формально разложить на амплитудную и фазовую составляющие

$$x(t) = a(t)\cos\varphi(t);\ \varphi(t) = \omega(t)t + \varphi_0, \quad (4)$$

где a(t) и φ(t) – амплитуда и фаза процесса x(t), зависящие от времени, имеющие такой же смысл, что и для гармонической функции.

Поскольку фаза зависит от времени произвольным образом, то вводится понятие мгновенной частоты ω(t). Отметим, что для составляющих процесса (4) часто используются термины мгновенная амплитуда и мгновенная фаза. Представление x(t) в виде (4) означает, что амплитуда, фаза и частота являются функциями времени, а значит, могут характеризовать нестационарный и случайный поток. Исходный поток раскладывается на 2 составляющие (амплитуду и фазу), поведение которых может анализироваться отдельно.

Для выполнения многих функций обработки полезен аналитический сигнал. Он состоит из вещественной и мнимой частей, сопряженных по Гильберту. Все составляющие частотных спектров этих 2-х сигналов имеют фазы, различающиеся на 90°. Для получения пары сопряженных по Гильберту сигналов необходимо пропустить исходный сигнал через фазовращатель.

Программная реализация алгоритма минимизации квадрата ошибки средствами пакета Matlab для двух звеньев дает результат, превышающий допустимую величину примерно в 1000 раз. Чем больше звеньев при заданном диапазоне частот, тем меньшую погрешность обеспечивает преобразователь Гильберта. Добавление 2 звеньев уменьшит ошибку аппроксимации примерно вдвое. А увеличив число звеньев до 14, получаем требуемый результат. Максимум ошибки аппроксимации ЦПГ 14-го порядка не превышает 0,001, что соответствует допустимому отклонению фазоразностной характеристики от 90° на 0,01°. Расчеты велись при повышенной в 4 раза, до 16000 Гц, частоте дискретизации. Четырехкратная передискретизация связана с тем, что при исходной частоте и верхней граничной частоте ЦПГ 1900 Гц часть полюсов цифровых фазовращателей 1-го порядка не могут быть реализованы (они находятся выше предела). Только четырехкратная передискретизация позволила получить заданную точность фазочастотной характеристики, которая имела в рабочей полосе необходимое число колебаний 15.

Перед фильтром необходимо добавить элемент, который увеличит частоту дискретизации в 4 раза. Он из экспандера частоты дискретизации (ЭЧД) и фильтра-интерполятора, выполняющего последующую обработку сигнала с выходной частотой дискретизации. ЭЧД, увеличивающий частоту дискретизации в m раз, представляет блок, который и преобразует входной сигнал с частотой дискретизации $f_д$ в выходной сигнал с частотой дискретизации m $f_д$, добавляя (m–1) нулевых отсчетов к каждому исходному. Спектр в полосе частот от 0 до 0,5 $f_д$ остается прежним, а это значит, что он имеет периодический характер, и причем период соответствует первоначальной частоте дискретизации 4000 Гц. На рис. 2 дана схема к учету реактивной мощности.

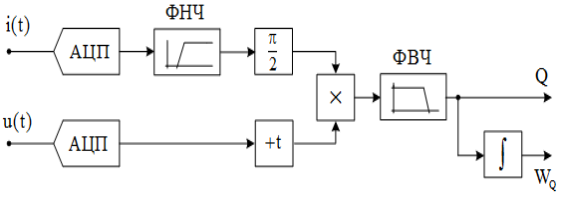


Рис. 2. Функциональная схема к учету реактивной мощности

Учет реактивной мощности по модифицированному алгоритму ведется следующим образом: фаза сигнала измерительного датчика тока (напряжения) поворачивается на 90°

$$i(t)=\sum_{k=1}^{\infty} I_{km}\sin\left(k\omega t+\varphi_k+\frac{\pi}{2}\right);$$

$$u(t)=\sum_{k=1}^{\infty} U_{km}\sin\left(k\omega t+\varphi_k-\frac{\pi}{2}\right).$$

Полученные значения подлежат перемножению

$$q(t)=\sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k}\sin\left(k\omega t+\varphi_{u,k}-\frac{\pi}{2}\right)\times$$

$$\times\sum_{k=1}^{\infty} I_{m,k}\sin(k\omega t+\varphi_{i,k});$$

$$q(t)=\sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k}\sin(k\omega t+\varphi_{u,k})\times$$

$$\times\sum_{k=1}^{\infty} I_{m,k}\sin\left(k\omega t+\varphi_{i,k}+\frac{\pi}{2}\right).$$

Пропуская данный сигнал через фильтр низких частот, получается значение реактивной мощности

$$Q=\sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k}I_{m,k}\cos\left(k\omega t+\varphi_{u,k}-\varphi_{i,k}-\frac{\pi}{2}\right)=$$

$$=\sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k}I_{m,k}\cos\left(k\omega t+\varphi-\frac{\pi}{2}\right)=$$

$$=\sum_{k=1}^{\infty} U_{m,k}I_{m,k}\sin(k\omega t+\varphi)\ . \quad (5)$$

Полученное выражение (5) полностью отвечает реактивной мощности в сетях с нелинейными нагрузками. Следовательно, погрешность при вычислении реактивной мощности по изложенному модифицированному алгоритму исчезает.

Список литературы

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1999-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 31 с.: ил. УДК 621.398:621.316.
2. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов – практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: «Вильямс», 2004. – 992 с.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАК СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ ОТ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Зацепина В.И., Мамонтов А.Н.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Опыт по эксплуатации систем электроснабжения свидетельствует, что изменения напряжения в сети происходят не столько из-за активной, сколько реактивной мощности. Провал напряжения характеризуют как случайную аварию сетевого происхождения, устранить которую в полной мере невозможно, особенно в сложных системах. При провалах снижается частота вращения электродвигателей, производительность агрегатов и др. [1].

Развивая причинно-следственную связь, целесообразно определить параметрический признак провалов напряжения – снижение коэффициента мощности cosφ. В таком случае задача повышения cosφ состоит в оценке эффективности защиты от провалов на принципах компенсации реактивной мощности. Повышение cosφ или уменьшение потребления Q звеньями электрической системы дает понижение потерь активной мощности, напряжения на участках, где потребление реактивной мощности уменьшается. Аналитически это подтверждается выражением, характеризующим глубину провала

$$\delta U_{пн}=\frac{U_{ном}-U_{min}}{U_{ном}},$$

где $U_{ном}$, U_{min} – величины номинального и минимального напряжения в сети.

Оценивать $\delta U_{пн}$ целесообразно относительно режима холостого хода в распределительной системе. Тогда разность выражается согласно векторной диаграмме по треугольнику мощностей

$$U_{ном}-U_{min}=\sqrt{I^2R^2+I^2X^2}=\left[PR+QX\right]^{0,5},$$

где I – нагрузочный ток; R, X – активное и индуктивное сопротивление элементов сети; P, Q – активная и реактивная составляющие мощности.

Следовательно, относительная величина глубины провала выражается по зависимости вида

$$\delta U_{пн}=\frac{\sqrt{3}\left[PR+QX\right]^{0,5}}{U_{ном}}=\frac{\sqrt{3X}\left[Q+\dfrac{P}{tg\varphi}\right]^{0,5}}{U_{ном}}, \quad (1)$$

где tgφ – коэффициент реактивной мощности.

Для перехода к базисным величинам необходима мощность короткого замыкания

$$S_{*кз}=\frac{S_{кз.пн}}{S_{*ном}}=\frac{3U_{пн}^2X_{пн}^{-1}}{S_{*ном}}, \quad (2)$$

где $S_{кз.пн}$, $S_{*ном}$ – мощности короткого замыкания режима провала напряжения и номинального (холостого хода) распределительной сети.

Используя (2) для величин, входящих в (1), запишем с учетом относительности глубины провала

$$\delta U_{пн}=\frac{1}{3\sqrt{S_{*кз}}}\sqrt{Q_*+\frac{P_*}{tg\varphi}}. \quad (3)$$

Составляющие активной и реактивной мощности выражаются в относительных единицах

$$Q_* = \frac{Q_{пн}}{Q_{хх}} = \frac{I_{пн}^2 X_{пн}}{I_{хх}^2 X_{хх}};\ P_* = \frac{P_{пн}}{P_{хх}}, \qquad (4)$$

где $Q_{пн}$, $Q_{хх}$, $P_{пн}$, $P_{хх}$ – значения реактивной и активной нагрузки для режимов распределительной сети при провале и холостом ходе; $I_{пн}$, $I_{хх}$, $X_{пн}$, $X_{хх}$ – значения токовых нагрузок и индуктивных сопротивлений участков сети.

Учитывая принятые соотношения в (4), представим (3) как эквивалент параметрического подхода к расчету глубины провала напряжения

$$\delta U_{пн} = \frac{1}{S_{*кз}}\left(Q_* + \frac{P_*}{tg\varphi}\right) + \frac{1}{2S_{*кз}^2}\left(P_* + \frac{Q_*}{tg\varphi}\right)^2.$$

Выражая Q_* через относительные значения I_* и X_*, получим итоговую зависимость в виде

$$\delta U_{пн} = \frac{1}{S_{*кз}}\left(I_*^2 X_* + \frac{I_*^2 X_*}{tg^2\varphi}\right) + \frac{1}{2S_{*кз}^2}\left(\frac{2I_*^2 X_*}{tg\varphi}\right)^2. \quad (5)$$

Мощность короткого замыкания в формуле (5) принимается 10 о.е. Точность, обеспечиваемая формулой, считается приемлемой. Чтобы избежать перегрузок элементов сетей и системы (линий, трансформаторов), которые испытывают нагрузки, необходимо компенсировать использование реактивной мощности. В таких случаях целесообразно устанавливать пассивное компенсирующее оборудование. Оно состоит из конденсаторных батарей с подстроечными дросселями, с демпфирующими резисторами для гашения параллельного резонанса.

Сегодня большинство электросетевых компаний стран Европейского Союза ограничивают потребление реактивной мощности величиной tgφ. Как правило, она не превышает 0,4 (в отдельных случаях tgφ не более 0,33). Фиксированная компенсация не оказывает влияния на провалы напряжения от флуктуаций реактивной мощности. Если уровень фиксированной компенсации слишком велик по отношению к минимальному расходу реактивной мощности, возникает риск избыточной компенсации. Полученная зависимость (5) позволяет построить область параметрической защиты. Она будет отражать потенциальную зону как интервал разброса значений устраняемого провала напряжения при компенсации реактивной мощности.

Анализ полученных результатов показал зависимость крутизны наклона графических плоскостей от tgφ. Исследования позволили оценить предельный tgφ, при котором не наблюдается избыточной компенсации реактивной мощности с глубиной устраняемого провала 100%. Эта величина составляет 0,365 (рис. 1).

Переход от глубины устраняемого провала к величине коэффициента реактивной мощности служит основой для параметрической защиты. На этом этапе формируются технические параметры в сети, необходимые для стабильных условий компенсации реактивной мощности по целям устранения провалов напряжения электроприемника: требуемый коэффициент мощности $\cos\varphi_{тр}$, необходимая реактивная мощность $Q_{КУ}$ и емкость $C_{КУ}$ для КУ

$$\cos\varphi_{тр} = \cos\left[\operatorname{arctg}\left(tg\varphi\right)\right]; \qquad (6)$$

$$Q_{КУ} = P_{ЭП} K_{РМ};\ C_{КУ} = \frac{Q_{КУ}}{\omega U_c^2} \approx \frac{P_{ЭП} K_{РМ}}{\omega U_c^2},$$

где $P_{ЭП}$ – активная мощность; $K_{РМ}$ – оценочное значение изменения коэффициента реактивной мощности; ω, U_c – угловая частота и напряжение в сети.

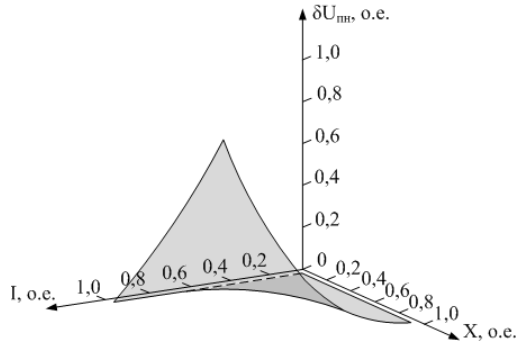


Рис. 1. Изменение глубины провала напряжения при компенсации реактивной мощности для tgφ 0,365

Оценочное значение изменения cosφ в (6) представляет поправочную зависимость. Ее предлагается использовать на стадиях повышения cosφ. Переход к $K_{РМ}$ возможен при условии действительного $\cos\varphi_{дст}$, требуемого $\cos\varphi_{тр}$ и активной нагрузке приемника. Расчет значения изменения коэффициента реактивной мощности осуществляется по формуле

$$K_{РМ} = \left(\cos\varphi_{дст}\right)^{-1}\sqrt{1-\cos^2\varphi_{дст}} - \left(\cos\varphi_{тр}\right)^{-1}\sqrt{1-\cos^2\varphi_{тр}}. \qquad (7)$$

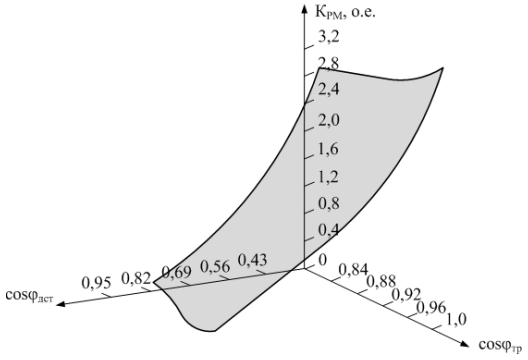


Рис. 2. График оценочных значений изменения коэффициентов реактивной мощности

В процессе анализа $K_{РМ}$ учитываются реальные значения коэффициентов мощности $\cos\varphi_{дст}$ и $\cos\varphi_{тр}$, подтверждаемые практическими данными. Это позволяет избежать неоднозначностей в его расчетах и определить реальное значение. Для визуализации и упрощения поиска $K_{РМ}$ создана трехмерная графическая структура на рис. 2. Она представляет

функцию двух переменных $f(\cos\varphi_{дст}, \cos\varphi_{тр})$ для расчетной части $К_{РМ}$. Это дает представление о функциональных возможностях параметрической защиты от провалов напряжения, подтверждая адекватность и достоверность теории.

Располагая глубиной устраняемого при компенсации реактивной мощности провала по (7), фиксируется величина tgφ с переходом к значению $\cos\varphi_{тр}$ и расчетом параметров (6). Осуществляется оценка адекватности результатов. Целесообразность повышения cosφ установки зависит от ее удаленности от генераторов с помощью эквивалента

$$К_{РМЭ} = К_{удР}\left(2 - \frac{Q_{ген}}{Q_{пот}}\right);\ К_{удР} = \frac{\Delta P_р}{Q}, \qquad (8)$$

где $К_{удР}$ – коэффициент удельных потерь активной мощности $\Delta P_р$ при передаче реактивной мощности Q, кВт/кВАр; $Q_{ген}$ и $Q_{пот}$ – генерируемая и потребляемая реактивные мощности, кВАр.

Оценка, выполненная по (8) показывает, что эффект снижения потерь активной мощности от передачи реактивной также определяется уменьшением потребления для самой компенсирующей установки. Величина $К_{РМЭ}$ находится во взаимосвязи с cosφ и зависит от структуры системы электроснабжения. При минимуме нагрузки $К_{РМЭ}$ принимает меньшие значения. Однако, по мере удаленности рассматриваемой точки сети от генераторов станции, его величина возрастает.

Список литературы

1. Шпиганович А.Н. Провалы напряжения на неповрежденных участках электрической сети / А.Н. Шпиганович, И.Г. Шилов, Т.А. Корченова // Промышленная энергетика. – 2008. №4. – С. 23–25.

ВЫРАВНИВАНИЕ МОЩНОСТИ ПО ФАЗАМ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Зацепин Е.П., Шурыгин Ю.А.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) широко применяются в металлургической промышленности. В процессе их функционирования генерируется большое количество электромагнитных помех. Это приводит к нарушению работы релейной защиты, автоматики, систем поисковой или диспетчерской связей, микропроцессорных комплексов, увеличению потребления электроэнергии, снижению производительности продукции, повышению процента брака и многомиллионным убыткам. В настоящее время особенно актуальна разработка мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования электроэнергетического комплекса «система электроснабжения-ДСП».

Функционирование ДСП можно разделить на четыре основных периода: расплавление, окисление, восстановление (рафинирование) и простой. Основная часть электромагнитных возмущений генерируется в период расплавления. Это вызвано резкими и значительными колебаниями токов и напряжений. Периоды окисления и восстановления характеризуются более спокойным графиком потребляемой мощности и менее существенными колебаниями токов и напряжений. В течение этих периодов наблюдаются меньшие уровни электромагнитных возмущений. Реактивное сопротивление короткой сети значительно изменяется во время плавильного цикла и существенно отличается от своего значения в период простоя. Исследования, проведенные на печи ДСП-100, показали, что его значение колеблется в пределах от 4 до 16 мОм. Это вызвано воздействием множества вероятностных факторов, вызывающих резкое и частое изменение нагрузок фаз. При этом возникает смещение нейтральной точки нагрузки относительной нейтральной точки печного трансформатора, не позволяющее добиться рационального функционирования печного агрегата.

Для питания мощных ДСП распространение получила схема косвенного регулирования. При питающем напряжении $U_{1ном} \le 35$ кВ в качестве первой электромагнитной единицы используется регулировочный автотрансформатор (рис. а), а при $U_{1ном} > 35$ кВ − это регулировочный трансформатор (рис. б). В этих схемах второй электромагнитной единицей является понижающий трансформатор [1]. Вторичная обмотка понижающего трансформатора соединяется по схеме «треугольник».

Управление электрическим режимом печи осуществляется путем изменения напряжения подаваемого на печь или длины дугового промежутка. Регулирование питающего напряжения производится периодически в определенные режимы плавки. Частые коммутации в сетях со столь значительными токами нежелательны. Изменение длины дуги выполняется с помощью электроме-

ханического или гидравлического привода, перемещающего стойки электродов.

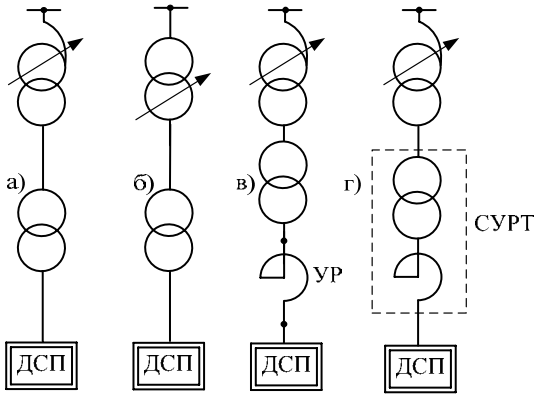


Рис. Схемы регулирования электропечной установки: а – косвенное регулирование с регулировочным автотрансформатором; б – косвенное регулирование с регулировочным трансформатором; в – косвенное регулирование с включением управляемого реактора (УР); г – косвенное регулирование с использованием СУРТ

Использование трехфазного питающего напряжения вносит ряд особенностей в регулирование электрического режима. Дуги, горящие в ДСП, образуют звезду без нулевого провода. В связи с этим ток любой дуги может возвращаться к трансформатору через две другие фазы. Изменение силы тока в одной из фаз приводит к несколько меньшему изменению тока в других фазах. Наблюдающееся взаимное влияние дуг вызывает перераспределение мощности между фазами. В большей степени это проявляется при неравенстве междуфазных расстояний и взаимных индуктивностей. Для минимизации этого явления используют симметричные токопроводы короткой сети и осуществляют функционирование печи при различных силах тока и напряжений фаз. Однако проведение таких мероприятий имеет ряд недостатков.

Симметрированные токопроводы короткой сети имеют равные фазные сопротивления в период простоя, но в периоды плавки они значительно изменяются. Работа с поддержанием неодинаковых значений фазных токов и напряжений производится в несимметричном режиме, не позволяющем добиться рационального функционирования электропечи. При управлении электрическим режимом важным фактом является то, что симметрия токов в электродах не означает симметрии токов в фазах трансформатора. Поэтому на электропечных установках необходимо производить регулирование токов, как на электродах, так и в трансформаторе [2].

При эксплуатации печей часто возникает несимметричный режим, при котором сопротивление одной из фаз значительно отличается от сопротивления двух других фаз. Фазу, имеющую наименьшее сопротивление принято называть «дикой», а наибольшее − «мертвой». Электрод «дикой» фазы быстрее расплавляет шихту и погружается сильнее. Взаимное расположение электродов и токопроводов фаз изменяется. При этом наблюдается перенос мощности с «мертвых» фаз на «дикую». Известный способ регулирования подразумевает выравнивать мощности по фазам путем регулирования дугового промежутка. В одном направлении перемещают электрод, мощность под которым отличается от заданной и в обратном направлении − электроды двух других фаз. Это вызывает изменение реактивных сопротивлений токопроводов. С целью устранения этого недостатка было предложено помимо регулирования положения электродов производить выравнивание реактивных сопротивлений по фазам за счет подключения конденсаторных батарей (БК) параллельно той фазе, реактивная составляющая сопротивления которой в данный момент больше. Однако подключение БК на низшее напряжение подразумевает выполнение условия синусоидальности тока печи [3]. Это вызывает затруднения при использовании этого способа на практике, поскольку возможны значительные перегрузки БК токами высших гармонических составляющих и тяжелые условия работы при частых коммутациях емкостей. Поэтому целесообразно создание альтернативных способов, имеющих важное прикладное значение.

Для регулирования реактивной мощности все большее применение получают управляемые реакторы, обладающие высокой эффективностью и экономичностью. Использование реакторов в системах электроснабжения промышленных предприятий позволяет производить практически безынерциальное и плавное регулирование потребляемой реактивной мощности. Для рассматриваемого случая может быть использован управляемый реактор трансформаторного типа.

Выбор способа включения реактора в цепь необходимо производить в соответствии со схемой регулирования напряжения ДСП, учитывая конфигурацию короткой сети. С целью минимизации смещения нейтральной точки нагрузки относительно нейтральной точки трансформатора его нужно устанавливать на низшее напряжение печного трансформатора (рис. в). Главной задачей является компенсация колебания реактивных сопротивлений, обусловленных изменением взаимных индуктивностей между фазами короткой сети.

Предполагается 3 способа выравнивания мощности по фазам в дуговой сталеплавильной печи, основанные на применении однофазных управляемых электрических реакторов трансформаторного типа, трехфазного управляемого электрического реактора трансформаторного типа, совмещенного управляемого реактор-трансформатора (СУРТ).

Включение регулировочного устройства в цепь производится последовательно между печным трансформатором и короткой сетью. В случае снижения реактивного сопротивления одной фазы и возрастания в других фазах вследствие переноса мощности, производится увеличение реактивного

сопротивления соответствующей рабочей обмотки регулировочного устройства. Метод, основанный на применении однофазного управляемого реактора, целесообразно применять в тех случаях, когда конструкция короткой сети способствует отличию реактивного сопротивления одной фазы от реактивных сопротивлений других фаз.

Если во время функционирования наблюдается неравенство сопротивлений всех трех фаз, то целесообразным является использование, либо трех однофазных реакторов, либо трехфазного управляемого реактора. При использовании косвенных схем регулирования напряжения ДСП с размещением управляющего устройства в первой электромагнитной единице возможно применение СУРТ (рис. *г*).

Рассмотренные способы позволяют снизить несимметрию электрических параметров короткой сети, излучение «дикой» фазы, глубину провала напряжения на стороне высшего напряжения печного трансформатора при возникновении коротких замыканий электродов на шихту. Это способствует возрастанию вводимой в печь мощности, уменьшению длительности цикла плавки и периодов простоя, требуемых для проведения ремонтных работ по восстановлению футеровки стен и свода вблизи «дикой» фазы.

В результате повышается производительность и снижается удельное потребление электроэнергии электропечи.

Список литературы

1. Аншин В.Ш. Трансформаторы для промышленных электропечей / В.Ш. Аншин, А.Г. Крайз, В.Г. Мейксон. – М.: Энергоиздат, 1982. – 296 с.
2. Данцис Я.Б. Методы электротехнических расчетов рудотермических печей / Я.Б. Данцис. – Л.: Энергия, 1973. – 184 с.
3. Минеев Р.В. Повышение эффективности электроснабжения электропечей / Р.В. Минеев, А.П. Михеев, Ю.Л. Рыжнев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 206 с.

МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНО-МОДУЛЯЦИОННОГО ТИПА В СРЕДЕ SwCAD III

Иванов А.Ю., Федотов А.В.

Научный руководитель: Михальченко Г.Я., д.т.н., профессор

НИИ «Промышленная электроника», 634045, Россия, г. Томск, ул. Вершинина, 74
E-mail: master_alexey@mail.ru

Компенсация реактивной мощности – один из наиболее эффективных способов рационального использования электроэнергии, позволяющих частично реализовать потенциал энергосбережения.

Многие потребители и преобразователи электроэнергии, в силу своих свойств, потребляют помимо активной мощности (АМ) некоторую реактивную мощность (РМ). Несмотря на то, что на выработку РМ активная энергия не расходуется, ее передача по сети требует затрат АМ, что приводит к дополнительному расходу топлива. Помимо этого, передача РМ дополнительно нагружает электросети и оборудование, работающее в этих сетях. Поэтому необходимо предусматривать меры по снижению реактивной мощности, потребляемой из сети. Устройства, обеспечивающие компенсацию реактивной мощности, получили название компенсаторов реактивной мощности (КРМ).

Авторами предлагается модель активного компенсатора реактивной мощности и мощности искажений (КРМиМИ), позволяющая проверить работоспособность устройства в целом, а также исследовать энергетические показатели, характеризующие эффективность использования и потребления электрической энергии, при изменении нагрузки и параметров компенсатора.

Разработанная схема модели КРМиМИ для среды моделирования SwCAD III представлена на рис. 1. Для модели было принято следующее допущение: в качестве транзисторов в силовой цепи компенсатора используются идеальные ключи, время переключения которых практически равно нулю, а также отсутствуют статические и динамические потери. Модель подключалась параллельно комплексной нагрузки, состоящей из линейной и нелинейной нагрузок.

Система управления данной модели реализована с помощью математических функций. Элементы электронной схемы E1, E2, E3 выполняют функцию датчиков напряжения, элементы H1, H2, H3 – датчиков тока. Элементы схемы B1, B2, B3 реализуют сравнение сигналов, поступающих с датчиков, а также формируют сигнал ошибки. ШИМ-генератор выполнен на элементах B4-B18. Элемент V1 является генератором пилообразного напряжения.

Результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3.

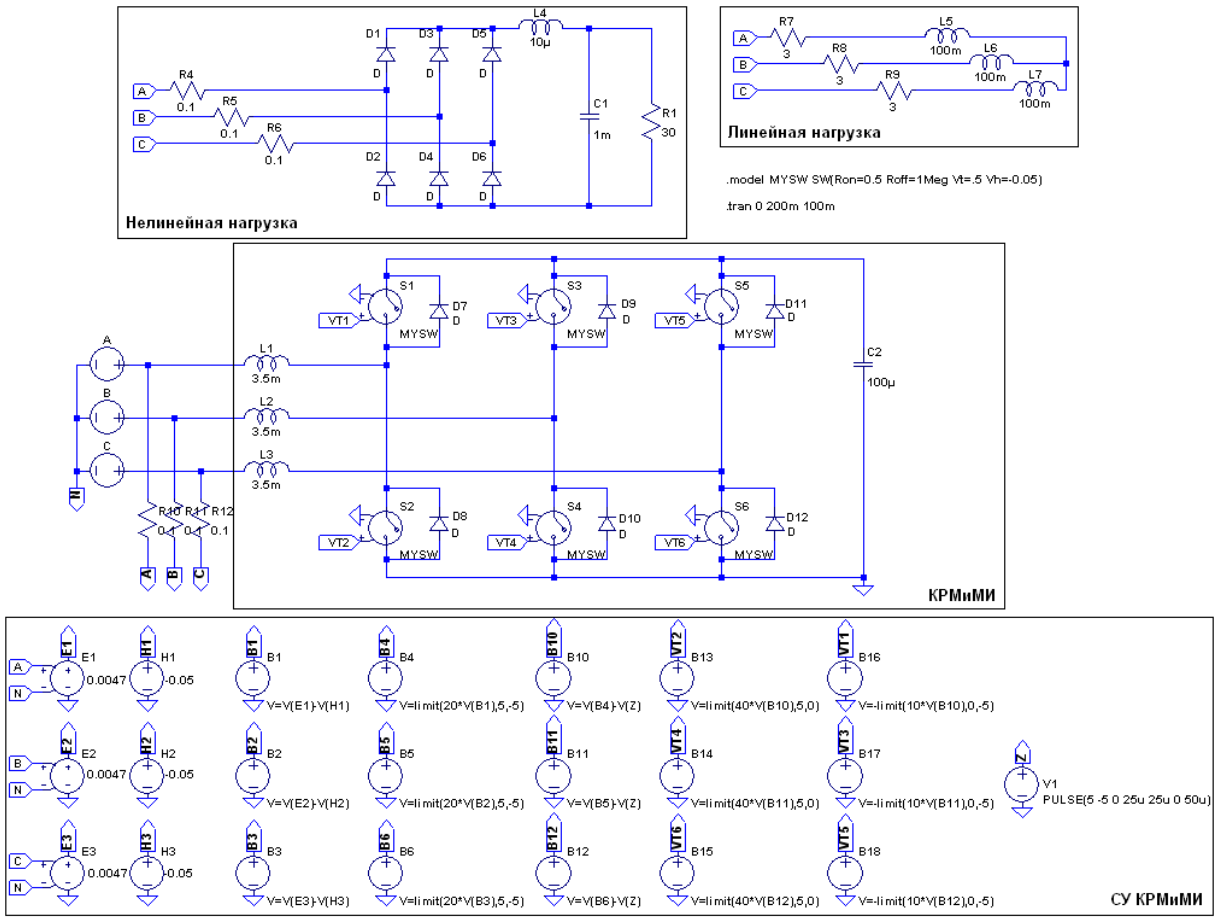


Рис. 1. Модель КРМиМИ в среде SwCAD III

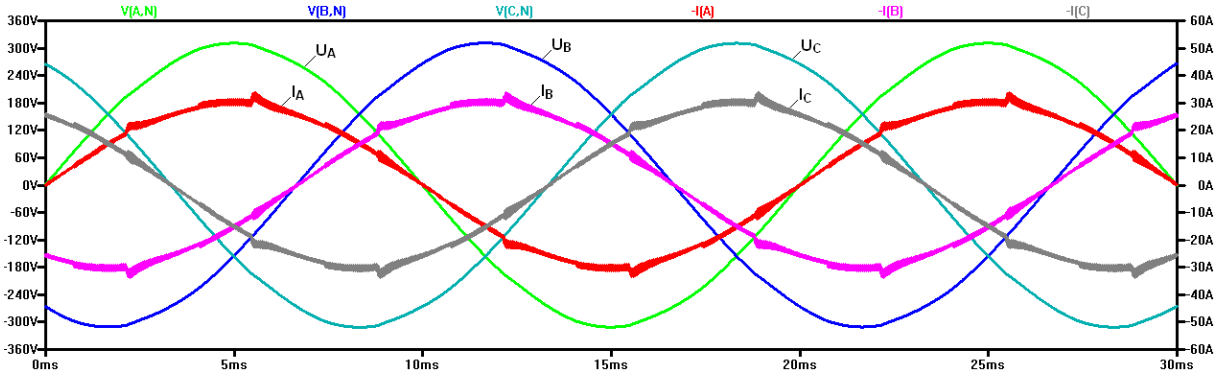


Рис. 2. Напряжения и токи трёх фаз сети

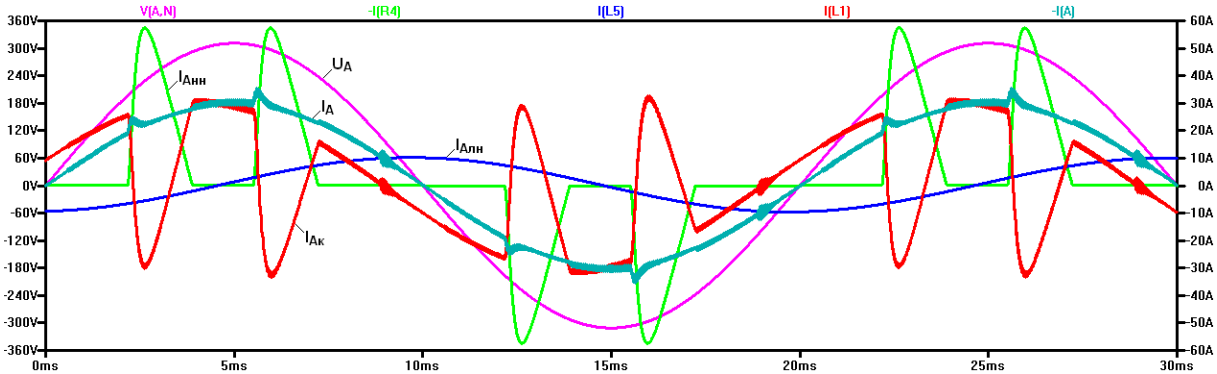


Рис. 3. Напряжение U_A и токи линейной нагрузки $I_{Aлн}$, нелинейной нагрузки $I_{Aнн}$, компенсатора $I_{Aк}$ и ток распределительной сети I_A

Как видно из полученных осциллограмм данная модель обеспечивает требуемую форму тока близкую к синусоиде (рис. 2). Спектр тока сети (рис. 2.19) также показывает, что модель подавляет все высшие гармоники, что в свою очередь говорит о корректной работе модели.

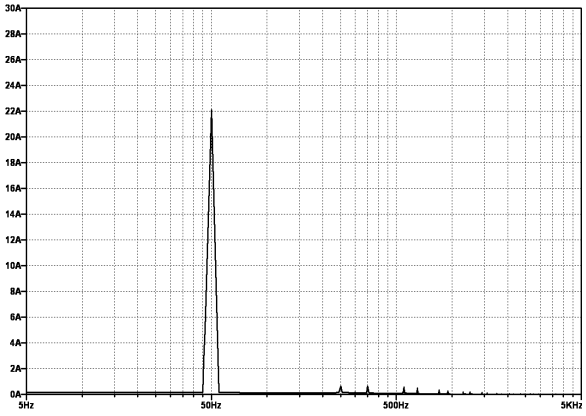


Рис. 4. Спектр тока распределительной сети I_A

В табл. 1 приведены параметры электрической сети, полученные в результате моделирования данной схемы.

Таблица 1

Параметры электрической сети

Параметры	Без применения КРМиМИ	С применением КРМиМИ
Iсети, А	21,7	21,68
I1сети, А	14,11	21,58
Км	0,65	0,985
Кг	1,16	0,096

Таким образом, данная модель полностью справляется с поставленной задачей по компенсации реактивной мощности и мощности искажений.

Список литературы

1. Михальченко, Г.Я. Промышленная электроника в энергосбережении / Г.Я. Михальченко, А.С. Стребков, В.А. Хвостов, С.А. Шумейко. – Томск: ТУСУР, 2006. – 306 с.
2. Жак КУРО. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении // Новости электротехники. – 2005 – №1(31).
3. http://www.linear.com

СУХОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВВОД НА ОСНОВЕ RIP-ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ

Иванюк Е.В., Куртенков Г.Е.

Научный руководитель: Куртенков Г.Е., к.т.н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivanyuk9a64@sibmail.com

В современной электроэнергетике наибольшее распространение получили высоковольтные вводы с бумажно-масляной изоляцией (OIP-вводы) на все классы напряжения ($U_H = 110 - 1150 кВ$) и номинальные токи $I_H \le 5000\,A$ [1].

Несмотря на хорошие диэлектрические свойства бумажно-масляной изоляции эксплуатация маслонаполненных вводов OIP всегда была связана с потенциальной опасностью взрыва ввода из-за возможной утечки масла и последующего пожара на маслонаполненном оборудовании – силовых трансформаторах, баковых масляных выключателях и др. Поэтому в последние годы наметилась тенденция замены OIP-изоляции на твёрдые («сухие») виды внутренней изоляции вводов (бумажно-бакелитовые RBP-вводы и бумажно-эпоксидные RIP-вводы). Подобное техническое решение позволяет не только уменьшить массу и габариты твердотельных вводов, но и снизить их стоимость [1, 2].

Вводы типа RBP хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации, они не требуют такого объема обслуживания как вводы с OIP-изоляцией, т. к. не нужно следить за давлением масла, отбирать его пробы на хроматографию и т. п. Однако у вводов с RBP-изоляцией есть и существенные недостатки, связанные с технологией изготовления, которая допускает наличие мельчайших газообразных включений в остове. Как следствие изоляция таких вводов имеет повышенный уровень частичных разрядов и увеличенные диэлектрические потери, что уменьшает внутренний ресурс RBP-вводов и ограничивает область использования RBP-изоляции. Поэтому твёрдые вводы с RBP-изоляцией называют вводами «вчерашнего дня», хотя их электрические характеристики полностью соответствуют требованиям ГОСТ 10693-81 [2].

Выход из создавшейся ситуации заключается в переходе с RBP-изоляции на более совершенную твёрдую RIP-изоляцию, которая отличается малым значением $tg\delta = 0,25 - 0,45\%$ и низким уровнем частичных разрядов (не более 5пКл при двойном фазном напряжении). Достигается это пропиткой предварительно намотанного на токоведущий стержень бумажного остова с перфориро-

ванными конденсаторными обкладками эпоксидным компаундом под вакуумом, что исключает наличие газовых включений в остове. В России компания «АББ Электроизолит Бушинг» с 1999г. освоила сборку вводов с RIP-изоляцией на $Uн = 110кВ$ и $Iн \le 2000А$ на основе остовов, закупаемых у компании ABB Micafil (Швейцария). С 2005г. «Мосизолятор» приступил к выпуску RIP-вводов собственной разработки.

На сегодняшний день RIP-изоляция – лучшая внутренняя изоляция для трансформаторных вводов, которая сохранив все преимущества RBP-изоляции перед бумажно-масляной, расширила область её применения до 500 кВ

В настоящей работе излагаются результаты расчёта и конструирования высоковольтного ввода типа RIP с полимерной покрышкой из силиконовой резины, что обеспечивает высокую ударопрочность, гидрофобность и сейсмостойкость. Расчётные параметры ввода для наружной установки: $Uн = 220кВ; Iн = 1500А; Ризг = 300кГс$. Для сравнения технико-экономических показателей был также произведен расчёт ввода с фарфоровой покрышкой на выше указанные параметры с использованием внутренней OIP-изоляции. На основе электрического и теплового расчётов получено, что ввод с OIP-изоляцией может устойчиво работать при максимальной напряженности поля $E\max = 12,8кВ/мм$ и при устойчивой температуре стержня $tcy = 80°C$

Соответственно ввод с RIP-изоляцией может устойчиво работать при $E\max = 17,0кВ/мм$ и $tcy = 114°C$.

Для снижения радиальных габаритов бумажно-эпоксидного ввода применена цельнолитая силоксановая покрышка, плотно прилегающая к остову ввода, что полностью исключает применение трансформаторного масла (рис. 1). Применение такой покрышки позволило уменьшить диаметр ввода до 275 мм. Ввод имеет приспособление для измерения напряжения (ПИН). Покрышка имеет рёбра переменного диаметра, что увеличивает мокроразрядное напряжение на 15–20% [3]. Габариты вводов типа OIP и RIP приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные геометрические размеры

Основные геометрические размеры, мм	OIP-ввод с фарфоровой покрышкой	RIP-ввод с полимерной покрышкой
Высота ввода, H	4380	3700
Высота верхней покрышки, Нв	2580	2580
Высота нижней покрышки, Нм	895	895
Длина пути утечки, l ут	5420	5700
Диаметр большего ребра, D1	410	280
Диаметр меньшего ребра, D2	340	210
Количество ребер, n	32	32
Масса ввода, кг	810	250

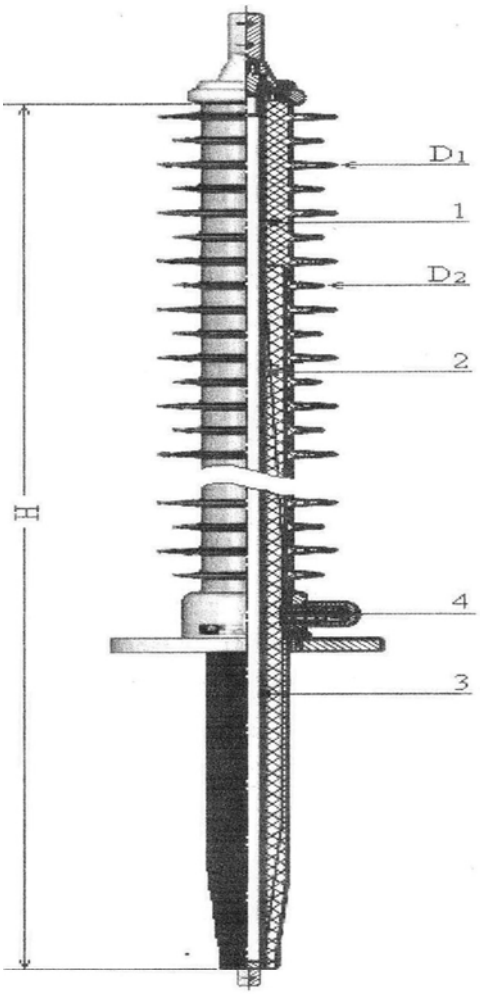


Рис. 1. Ввод с RIP-изоляцией и полимерной покрышкой на 220 кВ: 1 – внешняя полимерная изоляция; 2 – внутренняя твердая изоляция; 3 – токоведущий стержень; 4 – приспособление для измерения напряжения

Предварительные технико-экономические расчеты и их анализ показывает, что ввод с RIP-изоляцией имеет ряд преимуществ относительно ввода с OIP-изоляцией. Ввод имеет меньший вес, габариты, полное отсутствие масла, уменьшенные эксплуатационные расходы, удобство в обслуживании.

Список литературы

1. Славинский А.З. Высоковольтные вводы: расчет, конструирование и ремонт. – М.: Научтехлитиздат, 2001. – 373 с.
2. Козлов Ю.А., Страхов Ю.А. Высоковольтные вводы с твердой RIP изоляцией – Электрические станции, 2002, № 1. – С. 51–53.
3. Трусова В.Н., Кузьмина Л.Ф. Новые изоляторы для загрязненных районов.– Электрические станции. – 1975, № 11. – С. 63–65.

АНАЛИЗ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Калинина В.А., Космынина Н.М.

Томский политехнический университет, Электротехнический институт, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kosm_nm@tpu.ru

Трехфазное короткое замыкание (КЗ) является основным расчетным аварийным режимом для выбора аппаратуры и токоведущих частей объектов электроэнергетической системы. Режим сопровождается увеличением токов до значений, в несколько раз превышающих номинальные параметры электрооборудования. Это приводит к их повышенному нагреву и значительными электродинамическим усилиям между проводниками.

Результатами расчета являются составляющие тока КЗ (периодическая и апериодическая), а также ударный ток. Для определения апериодической составляющей и ударного тока используются выражения

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} I_{П0} \cdot e^{-\tau/Ta},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{ПО},$$

где $\tau = t_{с.в.} + 0,01$, $t_{с.в.}$ – собственное время отключения выключателя; T_a – постоянная времени цепи КЗ; $i_{a,0}$ – значение апериодической составляющей тока КЗ для момента времени; K_y – ударный коэффициент, определяемый через Та; $I_{ПО}$ – значение периодической составляющей тока при t = 0.

Интерес представляет определение Та

$$T_a = \frac{x_{рез}}{w \cdot r_{рез}},$$

где $x_{рез}$ и $r_{рез}$ – соответственно результирующие индуктивные и активные сопротивления цепи КЗ; w – частота.

В качестве Та в литературе по проектированию электрической части объектов энергосистем рекомендуется использовать «средние значения для характерных точек электросетей» [1, 2]. В тоже время имеются специализированные и доступные программные средства, позволяющие рассчитывать Та применительно к заданной схеме электростанции (подстанции) и конкретному месту повреждения.

Цель работы: выполнить программные расчеты Та и сравнить с рекомендуемыми.

В качестве исходных данных были использованы материалы курсового проектирования осеннего семестра 2009–2010 уч. г. по дисциплине «Электрическая часть электростанций» кафедры «Электрические станции» Электротехнического института Томского политехнического университета.

На рис. 1 приведен фрагмент структурной схемы.

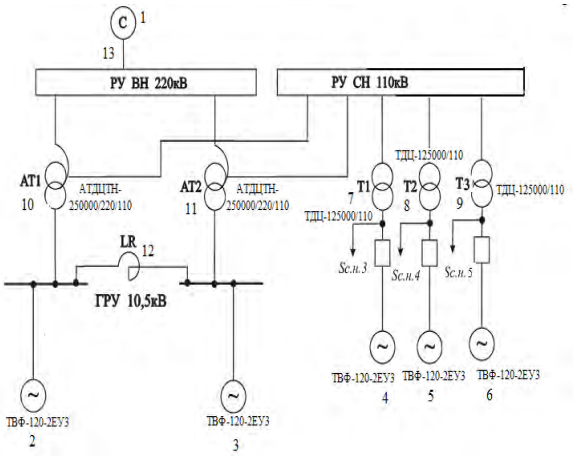


Рис. 1. Пример структурной схемы

Для расчетов использовалась программа GTCURR, которая применяется в проектных институтах, в частности, в ОАО «СибЭНТЦ Томский филиал института «Томсктеплоэлектропроект»«, и размещена в общем доступе на сервере ЭЛТИ ТПУ [3]. Программа имеет простой, наглядный и удобный интерфейс. Для формирования расчетной схемы используется набор графических элементов панели «Элементы», соответствующих общепринятым условным графическим обозначениям однолинейных схем трехфазных цепей. Электрические связи между элементами схемы выполняются с помощью команды панели «Операции». Эта же панель используется для параметризации элементов (с дополнительной литературой [4]) и режима КЗ. Результаты расчета отображаются непосредственно на экране. Также предусмотрено формирование протокола сеанса работы с программой. Достоинством программы является возможность просмотра токов в ветвях схемы по запросу пользователя. При этом в протоколе появляется запись о постоянной времени апериодической составляющей, что как раз и является предметом исследования.

Всего было проанализировано 7 схем, выполнен 21 программный расчет.

При этом места повреждения, просмотр токов задавались таким образом, чтобы имелась возможность сравнения программных расчетов Та с рекомендуемыми.

Таблица

Сравнение результатов расчета с рекомендуемыми значениями Та по [1, 2]

Элементы или части энергосистемы	Та, с (табличное значение)	Та, с (среднее расчетное значение)
Турбогенераторы мощностью 100–1000 Мвт	0,4 – 0,54	1,12
Блоки, состоящие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генераторов 100–200 МВт	0,26	0,69
Система, связанная со сборными шинами 6–10 кВ, где рассматривается КЗ, через трансформаторы мощностью 80 и выше, МВА в единице	0,06 – 0,15	0,06
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями напряжением 110–150, кВ	0,02	0,04
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями напряжением 220–330, кВ	0,03 – 0,04	0,03

Выводы

1. Имеется совпадение предлагаемых значений Та по [1, 2] с расчетными только для некоторых частных случаев: например, «система, связанная со сборными шинами 6–10 кВ, где рассматривается КЗ, через трансформаторы мощностью 80 и выше, МВА в единице».

2. Наблюдается полное несоответствие расчетных Та рекомендуемым значениям для турбогенераторов, основных источников токов КЗ. Например, «блоки, состоящие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генераторов 100–200 МВт» – табличное значение Та=0,26; расчетное среднее – 0,69.

3. Использование рекомендуемых значений Та [1, 2] вместо расчетных может привести к неоптимальному выбору электрических аппаратов и токоведущих частей. Например, для высоковольтных выключателей значения Та используются при проверке аппарата по условию отключения апериодической составляющей тока КЗ, по электродинамической и термической стойкости.

Список литературы

1. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник / Л.Д.Рожкова и др.–М.: Академия, 2004. – 448 с.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
3. Инструкция по использованию программы GTCURR (ГТКАРР) для расчета токов трехфазного короткого замыкания. Метод. указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов спец. 21.04,10.01 / сост. Космынина Н.М. – Томск: изд. ИПФ ТПУ,1994. – 28 с.
4. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ БЛОКОВ ДЛЯ ФУНКЦИЙ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

Карпов А.С.

Научный руководитель: Кравченко И.В., главный диспетчер

Филиал ОАО «СО ЕЭС» Ленинградское РДУ, 194223, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 1
E-mail: alex.s.karpov@gmail.com

Наряду с большими возможностями современных систем автоматического регулирования (САР) паровых турбин для выполнения функций режимной автоматики необходимо также отметить эффективность их применения в устройствах противоаварийной автоматики (ПА), в частности, в автоматических системах аварийной разгрузки блоков (АСАРБ) мощных энергоагрегатов. Современные АСАРБ турбоагрегатов 200–300 МВт имеют высокие динамические характеристики управления турбинами и осуществляют разгрузку блоков до величины нагрузки собственных нужд и холостого хода за время не более 0,2–0,3 с, что позволяет весьма эффективно задействовать их в схемах автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР). Необходимо отметить, что в существующих схемах ПА действие АЛАР, как правило, направлено на отключение генераторов от сети, что приводит к тяжелым последствиям: отключенные генераторы могут быть включены в работу лишь спустя значительный промежуток времени (0,5–3 часа). Важным является тот факт, что блок после действия ПА с использованием АСАРБ сохраняется в горячем резерве. В качестве иллюстраций на рис. 1а, 1б, 1в представлены осциллограммы натурных испытаний разгрузки турбины одного из блоков Киришской ГРЭС.

Анализ переходных процессов показывает весьма высокие динамические свойства системы управления турбиной, позволяющие сохранить режимные параметры сети в допустимых пределах.

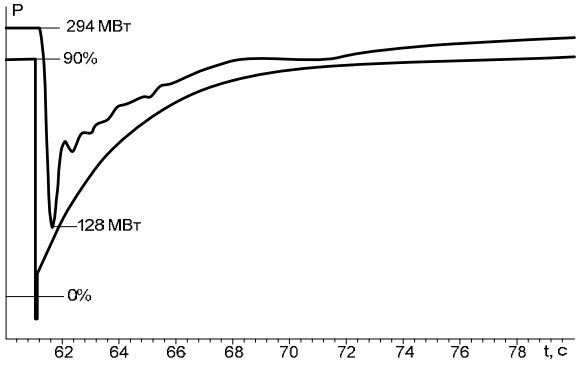


Рис. 1а. Импульсная разгрузка турбины (максимальная скорость разгрузки 583 МВт/с)

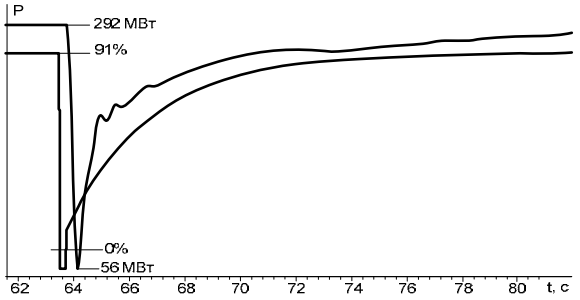


Рис. 1б. Импульсная разгрузка турбины (максимальная скорость разгрузки 938 МВт/с)

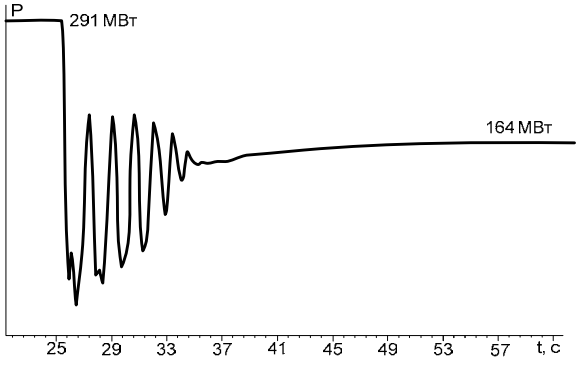


Рис. 1в. Импульсная и длительная разгрузка турбины (максимальная скорость разгрузки 1015 МВт/с)

С учетом возможности выявления асинхронного хода современными устройствами АЛАР (например, АЛАР-Ц) в самой ранней фазе, рассмотрим эффективность совместного использования АЛАР-Ц [2] и импульсной разгрузки турбин (ИРТ). АЛАР-Ц осуществляет выявление асинхронного хода на основе анализа изменения относительного угла δ по следующим условиям (рис. 2):

$$sign(\delta_л) = sign\left(\frac{d\delta_л}{dt}\right) = sign\left(\frac{d^2\delta_л}{dt^2}\right);$$

$$-X_2 \le X_{TMN} \le X_1;$$

$$U_{TMN} < 0{,}5U_{пот};$$

$$sign(\delta_л) \ne sign\left(\frac{dP}{dt}\right),$$

которые могут быть проверены с использованием местной информации о режиме контролируемого (защищаемого) участка сети. Здесь $\delta_л$ – разность фаз (относительный угол) между напряжениями по концам защищаемого участка сети; X_{TMN} – реактивное сопротивление участка сети от точки измерений (места установки АЛАР) до точки сети, где напряжение минимально (при возникновении асинхронного хода эта точка превращается в электрический центр качаний); U_{TMN} – напряжение в точке минимального напряжения; X_1, X_2 – уставки, задающие значения реактивных сопротивлений от точки измерений соответственно до начала и конца защищаемого участка сети;

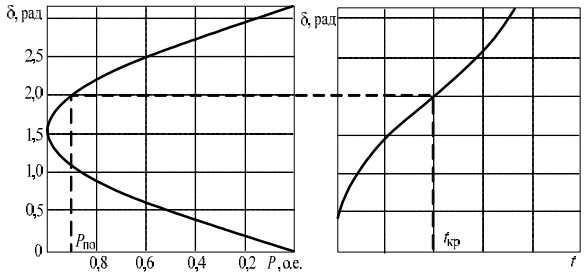


Рис. 2. Диаграммы изменения мощности и угла в начальной фазе асинхронного режима: P – переток активной мощности по защищаемому участку сети

В этой связи целесообразно реализовать алгоритм действия АЛАР по следующему принципу:

• первая ступень с направлением действия на ИРТ, либо ИРТ совместно с длительной разгрузкой турбины (ДРТ);

• вторая ступень с направлением действия на отключение генератора при недостаточности действия первой ступени;

• третья ступень, в случае сохранения асинхронного режима при недостаточности действия первой и второй ступеней, – с направлением действия на отключение линий, по которым возник асинхронный ход.

В качестве подтверждения сказанного на рис. 3а представлены переходные процессы изменения абсолютных углов роторов турбогенераторов Киришской ГРЭС при нарушении устойчивости и возникновении асинхронного хода из-за короткого замыкания (КЗ) вблизи шин электростанции в ремонтных режимах работы при ослабленной связи станции с энергосистемой. Как видно из рис. 3а, КЗ вблизи шин 330 кВ станции приводит к возникновению асинхронного режима, сопровождающегося глубоким снижением напряжения на шинах 330 кВ станции. При этом для его устранения вполне достаточно применения импульсной разгрузки турбины, как это показано на рис. 3б.

Как видно из рис. 3б, 3в применение импульсной разгрузки турбины на одном из шести агрегатов Киришской ГРЭС (кривая 1 рис. 3б), а также действие автоматических регуляторов скорости вращения оставшихся агрегатов (кривые 2–6 рис. 3б) позволяет обеспечить сохранение динамической устойчивости параллельной работы тур-

богенераторов станции. Необходимо отметить, что при предлагаемом совмещении АЛАР-Ц и ИРТ ***отсутствует необходимость в ресинхронизации генераторов*** после тяжелого аварийного возмущения.

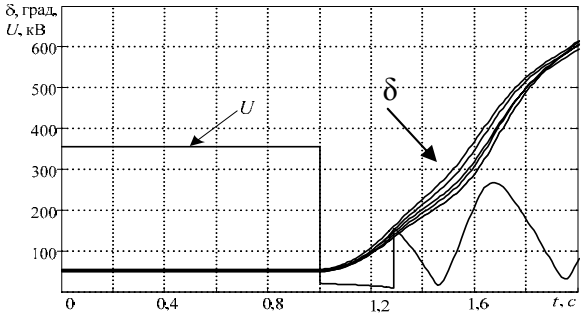


Рис. 3а. Нарушение устойчивости параллельной работы генераторов Киришской ГРЭС

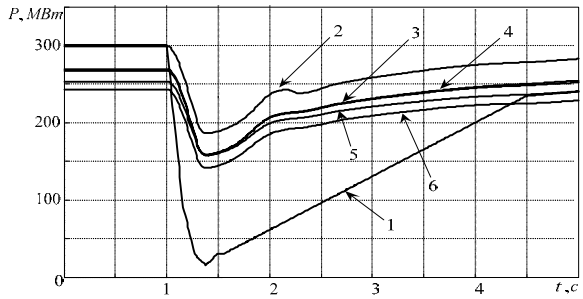


Рис. 3б. Изменение мощности турбин при КЗ (цифрами 1–6 указаны номера энергоблоков)

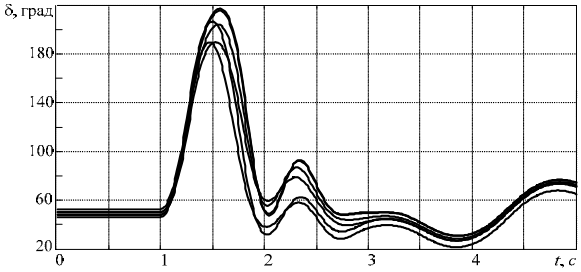


Рис. 3в. Изменение углов роторов генераторов блоков 1–6 при КЗ

Также как и для АЛАР, реализующей в данном случае принцип действия автоматики «ПОСЛЕ», эффективно задействование систем АСАРБ в централизованных автоматиках АПНУ, широко распространенных в настоящее время в энергосистемах, построенных на принципах «ДО».

1. Список литературы:
2. 1. Электрогидравлические системы автоматического регулирования паровых турбин ЛМЗ для участия в нормированном первичном регулировании частоты и мощности / Лысенко В.В., Черномзав И.З., Лисянский А.С. и др. – Электрические станции, 2009, №2.
3. 2. Автоматика ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц / Эдлин М.А., Кац П.Я., Лисицын А.А., Чаплюк С.В.и др. – Электрические станции, 2005, №12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТИ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ НУЛЕВЫХ ПЕРЕХОДОВ В УСТРОЙСТВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кац И.М.

Научный руководитель: Гольдштейн Е.И.

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: katz@tpu.ru

В последние годы усилился интерес к устройствам функционального контроля (УФК) элементов электроэнергетических систем: линий электропередачи, трансформаторов, установок компенсации реактивной мощности, для распознавания повреждений на ранней стадии их развития, еще до срабатывания устройств релейной защиты.

Сотрудниками Южно-Российского государственного технического университета ведутся работы по созданию ряда комбинированных защитно-диагностических устройств как основы комплексов обеспечения «живучести» работы электроэнергетических систем (ЭЭС) в рамках АСУТП электрической части электростанций и электрических сетей.

В Донецком национальном техническом университете предложена интеллектуальная релейная защита, в состав которой входит экспертная система для определения места и степени локальных дефектов изоляции в сетях с изолированной нейтралью.

Близкие задачи решаются в Томском политехническом университете. Здесь по массивам мгновенных значений токов и напряжений, получаемых с помощью регистраторов электрических сигналов, определяются параметры схем замещения (ПСЗ) элементов ЭЭС, а УФК ведут слежение за этими параметрами и делают, при необходимости, те или иные диагностические выводы [1, 2].

Во многих УФК используются процедуры определения угла сдвига фаз (УСФ) между токами, токами и напряжениями, между напряжениями. К сожалению, в ЭЭС токи и напряжения зачастую несинусоидальны, что затрудняет контроль фазо-

вых соотношений и заставляет использовать аппаратные или программные фильтры для выделения первых гармоник контролируемых сигналов. В этом случае УСФ вычисляются как разности моментов времени между нулевыми переходами первых гармоник контролируемых сигналов.

Таблица 1

Тестовые сигналы	Методическая погрешность метода, %			
	1	2	3	4
$a(t_j)=100\sin(\omega t_j+60), b(t_j)=100\sin(\omega t_j+30).$	0,047	0,02	0,002	0,002
$a(t_j)=100\sin(\omega t_j),$ $b(t_j)=100(\sin(\omega t_j+30)+0,5\cdot\sin(3\cdot\omega t_j+10)).$	11,7	0,0005	0,046	0,013
$a(t_j)=80\sin(\omega t_j+30)+50\cdot\sin(3\cdot\omega t_j+20)+30\cdot\sin(5\cdot\omega t_j+45)),$ $b(t_j)=17,87\sin(\omega t_j-18)+5,59\cdot\sin(5\cdot\omega t_j+120)).$	21	0,0001	0,0002	0,076

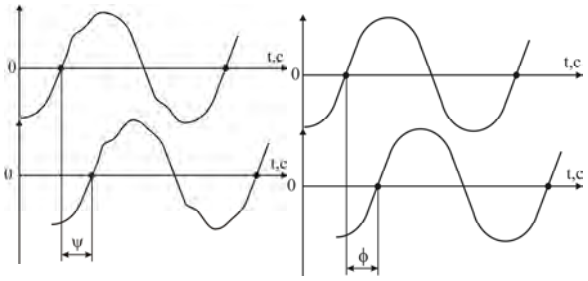


Рис. 1. Кривые несинусоидальных и синусоидальных токов (напряжений)

Как показали исследования автора, в УФК целесообразно оперировать с разностью моментов времени нулевых переходов (далее – РМВНП) между контролируемыми величинами (см. рис. 1). Здесь ψ – РМВНП, выраженная в угловых величинах, φ – УСФ двух синусоидальных сигналов. Использование такого подхода позволяет значительно сократить вычислительные затраты и уменьшить требования к применяемым программно-аппаратным решениям.

Для определения РМВНП были исследованы следующие методы [2]:

• метод определения РМВНП, основанный на использовании теоремы Телледжена (далее – метод 1);

• метод определения РМВНП, основанный на разложении анализируемых токов (напряжений) в ряд Фурье и фиксации соответствующих нулевых переходов (далее – метод 2);

• метод определения РМВНП, основанный на использовании параболической интерполяции анализируемых токов и напряжений (далее – метод 3);

• метод определения РМВНП, основанный на линейной интерполяции анализируемых токов и напряжений (далее – метод 4).

Основными критериями для сопоставления данных методов являются точность вычисления РМВНП и их трудоемкость.

Оценка точности вычисления РМВНП производилась с помощью тестовых сигналов, сформированных виртуальным генератором периодических сигналов [3]. Затем производился расчет РМВНП соответствующим методом; проводилось сравнение «точных» и расчетных значений РМВНП; рассчитывались значения абсолютных и относительных погрешностей вычисления РМВНП.

В качестве примера, в табл. 1 приведены результаты сравнительных исследований по определению методической погрешности при расчете РМВНП.

Как видно из табл. 1, методы 2–4 могут быть использованы при определении РМВНП между несинусоидальными сигналами.

Для анализа трудоёмкости рассмотренных методов определения РМВНП был использован подход, в котором все структуры алгоритмов разбиваются на последовательности элементарных операций, и производится подсчет их количества.

В табл. 2 приведены оценочные сведения о трудоемкости рассматриваемых процедур определения РМВНП.

Таблица 2

Метод	Число элементарных операций
1	371
2	8506
3	296
4	685
Фильтрация основной гармоники одного сигнала	636

Приведенные в табл. 2 сведения о количестве операций, необходимых для проведения фильтрации сигналов, показывают, что применение используемых в настоящее время в ЭЭС методов определения УСФ между несинусоидальными сигналами по их основным гармоникам значительно увеличивает трудоемкость проведения функционального контроля элементов ЭЭС. Как видно из табл. 2, по степени возрастания вычислительных затрат рассмотренные методы располагаются следующим образом: 1) метод, основанный на использовании линейной интерполяции; 2) метод, основанный на использовании параболической интерполяции; 3) метод, основанный на ис-

пользовании теоремы квазимощности; 4) метод, основанный на разложении сигналов в ряд Фурье.

Для оценки возможности использования рассматриваемых процедур определения РМВНП между токами и напряжениями, протекающих в исследуемых элементах ЭЭС, на цифро-аналого-физической модели одноцепной ЛЭП и однофазного трехобмоточного трансформатора «Научно-исследовательского института по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения» были проведены измерения РМВНП между соответствующими токами и напряжениями.

Оценка возможности использования процедур определения РМВНП для трехфазных конденсаторных устройств компенсации реактивной мощности была проведена на основе ММЗ токов и напряжений, полученных на установках компенсации реактивной мощности БКЭ-1,05-252-У1 и КЭС1 1,05 63 1У1, установленных на ПС «Восточная» и «Катыльгинская».

Для оценки точности вычислений были использованы интервальные значения РМВНП, полученные непосредственно по осциллограммам. Как показали исследования, значения РМВНП, рассчитанные рассматриваемыми методами, соответствуют значениям, полученным непосредственно по осциллограммам.

На математических моделях элементов ЭЭС в среде Matlab были проведены исследования, которые показали принципиальные возможности использования процедур определения РМВНП в устройствах функционального контроля [2].

Список литературы

1. Аврамчук, В.С., Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отчетам мгновенных значений тока и напряжения / Н.Л. Бацева, Е.И. Гольдштейн, И.Н. Исайченко, Д.В. Ли, А.О.Сулайманов, И.В. Цапко; под ред. Е.И. Гольдштейна. – Томск: Печатная мануфактура, 2003. – 240 с.
2. Гольдштейн, Е.И., Кац, И.М, Теория и практика диагностирования элементов электроэнергетических систем и сетей по параметрам их схем замещения в рабочем режиме / Н.Л. Бацева, Д.В. Джумик, А.В. Панкратов, А.В. Прохоров, Л.В. Абрамочкина, Т.С. Гурин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – №1. – С. 7. – 10.
3. Гольдштейн Е.И., Кац И.М. Определение угла сдвига фаз между двумя несинусоидальными сигналами, представленными цифровыми отсчетами// Изв. вузов. Физика. – 2007.– №10.–С. 66–71.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОДА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Кобылинец Е.В., Жгун Д.В.

Научный руководитель: Жгун Д.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yevka_go@mail.ru

При выполнении работ по разборке, реконструкции и ремонту железнодорожных путей образуется огромное количество отслуживших свой срок железобетонных шпал, тонны которых скапливаются на территории железной дороги и являются головной болью в первую очередь, из-за нехватки на территории нашей страны полигонов для захоронения отходов. Компания «РЖД» пытается решить данный вопрос, в том числе прорабатывая возможность создания собственных полигонов и организации предприятий по переработке некоторых видов отходов для их повторного использования в качестве материала для отсыпки территории, в фундаментных и ландшафтных работах, для создания временных дорог [1].

НИИ высоких напряжений в этой связи предлагает использовать, зарекомендовавшую себя ранее установку для разрушения железобетонных плит ЭСУ-2Т-22 [2], модернизированную под электроразрядную установку по разрушению железобетонных шпал.

Железнодорожные шпалы представляют собой железобетонные балки переменного сечения с проволочной арматурой (рис. 1).

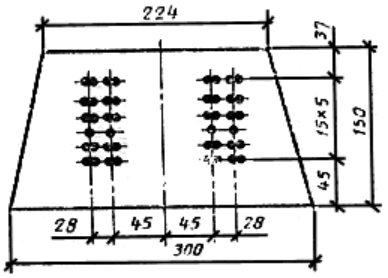


Рис. 1. Размещение арматуры на торце шпалы

Важным элементом электроразрядных установок является высоковольтный электрод (ВЭ), конструкция которого определяет срок службы и их технико-экономические показатели. Наиболее слабым звеном высоковольтного электрода является изоляция, т. к. при разрушении железобетонных изделий подвергается воздействию электрической эрозии, гидроударов и трекингу при перекрытии на заземленный арматурный каркас [3].

Определяющим фактором возникновения разрядов по торцу изоляции ВЭ является конфигурация силовых линий электрического поля в трой-

ной точке (полиэтилен–вода–сталь). К настоящему времени известно три основных способа уменьшения значения напряженности электрического поля (Е) в тройной точке, которые были исследованы экспериментально [3]. Физическое моделирование требует большое количество образцов и занимает длительное время. Перспективным является использование компьютерного моделирования электрического поля ВЭ, для выбора оптимальной конструкции.

Целью данной работы является моделирование электрического поля высоковольтного электрода с использованием программного пакета ELCUT.

ELCUT – это интегрированная диалоговая система программ, позволяющая решать плоские и осесимметрические задачи типа расчета электрического поля (электростатического поля, электрического поля постоянных токов, электрического поля переменных токов) и т. д.

Исходные данные для моделирования выбирались исходя из реальных размеров конструкции: межэлектродное расстояние 45 мм (толщина бетона до арматуры в подошве шпалы), система электродов острие–плоскость, ВЭ-стальной стрежень ø27 мм, в полиэтиленовой изоляции ø80 мм. Рабочее напряжение 450 кВ [4]. Моделирование проводилось на конструкциях ВЭ, описанных в [3].

Система программ ELCUT позволяет выводить результаты моделирования в виде картины электрического поля (рис. 2) и измерять Е в любой точке области моделирования.

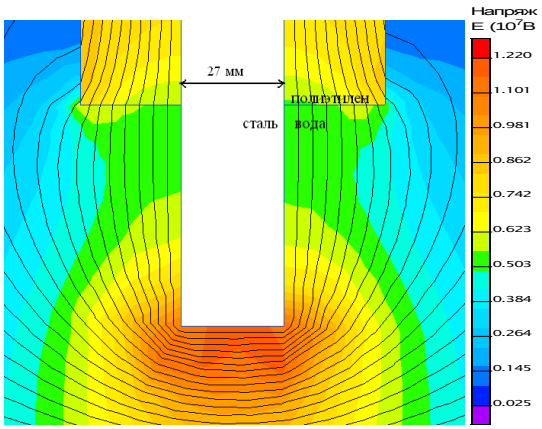


Рис. 2. Картина электрического поля электрода с длиной неизолированной части электрода h = 58 мм

Одним из вариантов снижения значения напряженности электрического поля в тройной точке является увеличение длины неизолированной части электрода h (рис. 3).

Наряду с длиной неизолированной части электрода на величину Е в тройной точке существенное влияние оказывает геометрия изолятора (рис. 4), а именно конусная заточка его торца под углом α [3].

Из графика на рис. 5. видно, что оптимальное значение α лежит в интервале от 45 до 70°. Следует отметить, что изготовление изолятора с α<45° технически не целесообразно.

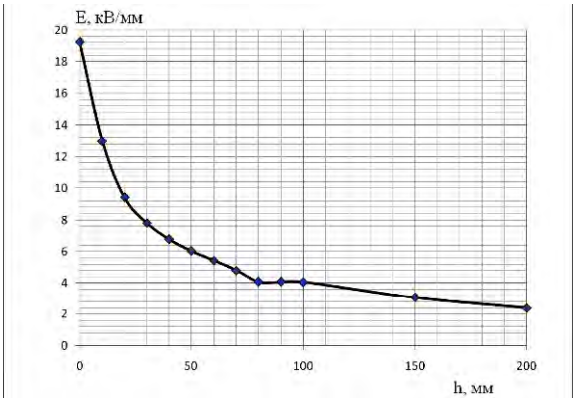


Рис. 3. Зависимость напряженности электрического поля в тройной точке от h = 58мм

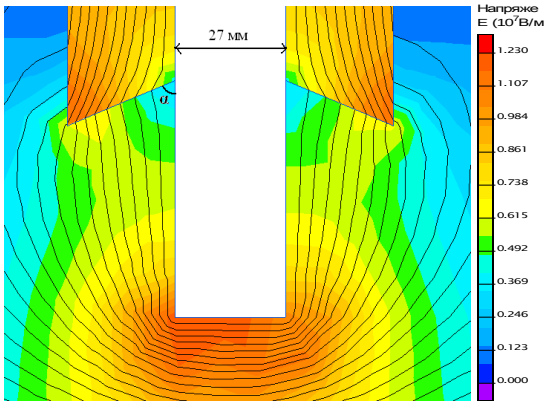


Рис. 4. Картина электрического поля электрода с α = 70°, h = 58 мм

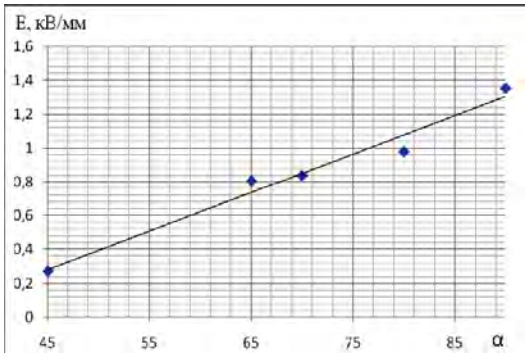


Рис. 5. Зависимость напряженности поля в тройной точке от угла конусной заточки изоляции α, h = 58 мм

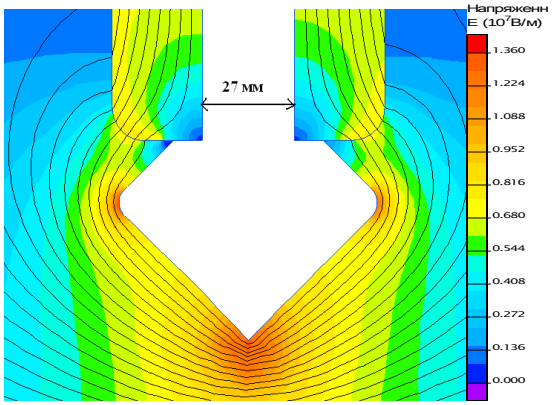


Рис. 6. Картина электрического поля электрода с конусообразным наконечником h = 58 мм

Еще одним важным параметром снижения напряженности поля в тройной точке является геометрия неизолированной части электрода. На рис. 6 представлена картина поля для электрода с конусообразным наконечником, использованного в установке ЭСУ-2Т-22.

Из рис. 6 видно, что Е в тройной точке значительно меньше, чем для предыдущих конструкций ВЭ. Кроме этого наблюдается высокая напряженность электрического поля в других точках электрода, что позволяет осуществлять пробой при заглублении электрода в разрушаемое железобетонное изделие в разных направлениях.

По результатам выполненной работы можно сделать вывод, что система программ ELCUT позволяет получать адекватные результаты, которые подтверждаются данными из [3], следовательно, ее можно использовать при разработке высоковольтных электродов.

Работа выполняется в рамках проекта «Переработка и утилизация техногенных образований и отходов» ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Сайт газеты «Гудок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gudok.ru/newspaper/detail.php?ID=251258&SECTION_ID=13287&year=2007&month=07.– Загл. с экрана.
2. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. СПб. : Наука, 1995. – 276 с.
3. Баранов А.И. Разработка высоковольтных электродов для электроимпульсной утилизации железобетона и бурения шпуров: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1992. – 170 с.
4. Танбаев Ж.Г. Электровзрывное разрушение бетона и железобетона: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1987. – 195 л.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗОЛЯЦИЮ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТОКОМ НАГРУЗКИ*

Коржов А.В., Томашева Е.В.

Научный руководитель: Коржов А.В., к.т.н., доцент

Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г.Челябинск, пр. Ленина, 76
E-mail: ABK1978@mail.ru

В процессе работы под нагрузкой изоляция трёхжильного кабеля напряжением 6(10) кВ подвергается тепловому воздействию, связанному с активными потерями и циклическому механическому воздействию, обусловленному электромагнитным взаимодействием между жилами кабеля.

По результатам ранее проведённых нами исследований [1, 2] на образцах изоляции из сшитого полиэтилена (с использованием прибора динамического механического анализа DMA 242C, NETZSCH) были определены упругие и диссипативные свойства изоляции: модуль запаса E'; модуль потерь E'' (характеризующий нелинейную составляющую деформации); тангенс угла механических потерь $tg\delta$ – как функции от температуры. Полученные данные показали, что механические свойства изоляции меняются с ростом температуры, а само динамическое механическое воздействие приводит к выработке ресурса изоляции, возрастающее с ростом температуры.

При механическом воздействии на изоляцию силой со стороны жил, перемещающихся под действием электромагнитных сил «F», изменение длины участка изоляции от начального значения «L_0» до конечного «$L_м$« в соответствии с законом Гука определяется равенством [3]:

$$\Delta L_м = \frac{1}{E}\frac{F \cdot L_0}{S}. \qquad (1)$$

Здесь S – площадь поперечного сечения образца изоляции; E – модуль Юнга (модуль упругости).

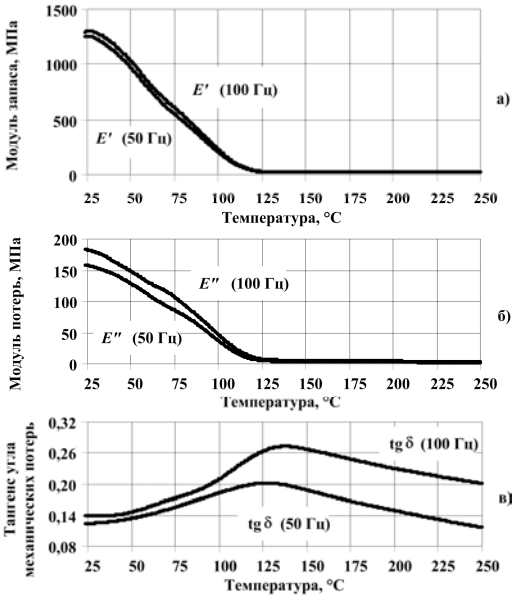


Рис. 1. Упругие (а), диссипативные (б) и соотношение упругих и диссипативных свойств изоляции из сшитого полиэтилена при испытании на локальное вдавливание с частотой 50 и 100 Гц

При протекании электрического тока по жилам кабеля, мощность электрических потерь $P_{ЭЛ}$

* Исследования проводятся при государственной поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских учёных – кандидатов наук (шифр заявки: МК–1402.2009.8).

преобразуется в тепловой поток:

$$\Delta T = P_{\text{эл}} \frac{h}{\lambda \cdot S}. \quad (2)$$

Здесь λ – коэффициент теплопроводности материала; h – толщина изоляции с поперечным сечением «S»; ΔT – разность температур.

Выделяемые активные потери увеличивают температуру кабеля. С повышением температуры происходит линейное расширение твёрдых тел (жил, оболочки кабеля), называемое тепловым расширением, которое характеризуется коэффициентом линейного расширения «α» в данном интервале температур.

Если «L_0» – первоначальная длина участка изоляции, а «L_t» – его длина после нагрева на «Δt» градусов, то изменение длины участка изоляции:

$$\Delta L_t = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta \text{T} \cdot \quad (3)$$

Рассмотрим условия одинакового изменения длины участка изоляции под действием механических усилий и теплового потока. В результате будем иметь равенство между уравнениями (1) и (3):

$$\alpha \cdot L_0 \cdot \Delta \text{T} = F \frac{L_0}{E \cdot S}. \quad (4)$$

Подставив в последнее равенство значение изменения температуры из (2) и проведя несложные преобразования, получим:

$$\alpha \cdot P_{\text{эл}} \frac{h}{\lambda} = \frac{F}{E}. \quad (5)$$

Из последнего равенства можно определить уравнение силы «F», которую необходимо приложить к участку изоляции толщиной «h», чтобы его длина изменилась на столько, насколько она изменяется при протекании теплового потока, обусловленного мощностью «P_Q»:

$$F = h \frac{\alpha \cdot E}{\lambda} \cdot P_{\text{эл}}. \quad (6)$$

В соответствии с законом Ампера, сила, действующая на участок прямолинейного проводника с током «i_1» длиной «L» со стороны длинного прямолинейного проводника с током «i_2», расположенного параллельно первому на расстоянии d от него, равна:

$$F = \mu \cdot \mu_0 \cdot 2 \cdot i_1 \cdot i_2 \frac{L}{4\pi d}, \quad (7)$$

где μ_0 – магнитная постоянная $1{,}256 \cdot 10^{-6}$ Гн /м; μ – относительная магнитная проницаемость.

Здесь коэффициент связи между электродинамической силой и электрическими потерями определяется по формуле:

$$K_{ft} = h \frac{\alpha \cdot E}{\lambda}. \quad (8)$$

Деформация участка изоляции любой конфигурации характеризуется величиной, называемой относительной продольной деформацией:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}. \quad (9)$$

Закон Гука для образцов любых форм объектов

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (10)$$

где $\sigma = F/S$ – напряжение [Н\м^2].

Так как уравнение силы (6) получено в результате преобразований уравнений тепловой и механических нагрузок, то логично провести замену модуля Юнга соотношением из уравнения (10):

$$F = K_{ft} \cdot P_{\text{эл}}. \quad (11)$$

Здесь

$$K_{ft} = h \frac{\sigma \cdot \alpha}{\varepsilon \cdot \lambda}, \quad (12)$$

где h – толщина изоляции в направлении прохождения теплового потока.

Из уравнения (12) следует, что при одинаковом удлинении изоляции при тепловом и механическом воздействиях необходимо, чтобы сила электромагнитного воздействия соотносилась с электрическими потерями, как

$$\frac{F}{P_{\text{мех}}} = K_{ft} \cdot \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{мех}}}. \quad (13)$$

Величина, обратная соотношению (13), представляет собой критическую скорость перемещения жилы под действием электродинамических сил:

$$V_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{мех}}}{F} = \frac{\varepsilon \cdot \lambda}{(\alpha \cdot \sigma \cdot h)(P_{\text{мех}} / P_{\text{эл}})}. \quad (14)$$

При этой скорости мощность механических колебаний становится такой, что деформация изоляции под действием электродинамических сил равна деформации под действием теплового потока от электрических потерь.

На основании статистических исследований нами доказано [4, 5], что ресурс кабелей по термическому и электродинамическому воздействию от токов короткого замыкания в радиальной схеме определяется не только собственным состоянием изоляции, но и состоянием изоляции кабелей, расположенных ниже по схеме электрической сети, находящихся в одной радиальной ветке.

Таким образом, применение сравнительного расчёта электрических и механических потерь позволяет рассматривать кабельную изоляцию с точки зрения комплексного воздействия со стороны протекающего тока [6]. Однако необходимо учитывать, что физические процессы при тепловом и механическом воздействиях различны и методика сравнения указанных процессов требует дальнейшей теоретической и экспериментальной проработки.

Список литературы

1. Механическое действие электродинамических усилий на изоляцию силового кабеля 6–10 кВ [Текст] / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, С.Б. Сапожников, Г.А. Шилова // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2009. – № 11–12.
2. Расчёт напряжённости поля и электродинамических усилий в силовых кабельных линиях из сшитого полиэтилена [Текст]: программа / ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»; рук. Коржов А.В.; исполн.: Томашева Е.В. – М., 2008. – № ГР 50200800072. – Инв. № ФАП 9690
3. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов ВУЗов [Текст] / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука, 1979. – 942 с.
4. Юрченко Е.Ю. Оценка состояния изоляции городских кабельных линий напряжением 6–10 кВ с разработкой рекомендаций по улучшению условий электробезопасности: дис. ...канд. тех. наук / Е.Ю. Юрченко. – Челябинск, 2009. – 130 с.
5. Математическая модель повреждаемости изоляции силовых кабельных линий городских электрических сетей / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, Е.Ю. Юрченко, А.Б. Николаевский. – Электрические станции, 2008, № 8.
6. Томашева Е.В. Деформация изоляции кабеля под действием тепловой и механической нагрузок [Текст] / Е.В. Томашева // Энергетика в современном мире: VI Всерос. науч-практ. конф.: сб. материалов. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2009. – Ч. 1. – С. 80–86.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ 6(10) кВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ*

Коржов А.В.

Научный руководитель: Коржов А.В., к.т.н., доцент

Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г.Челябинск, пр. Ленина, 76
E-mail: ABK1978@mail.ru

При наличии статистических данных по отказам изоляции силовых кабелей 6(10) кВ в городских электрических сетях появляется возможность разработать прогнозирующую математическую модель. Ранее нами было доказано и обосновано, что ряд пробоев изоляции в городских электрических сетях подчиняется геометрическому распределению, на основании которого и территориального деления кабельной сети предложена математическая модель по прогнозу отказов изоляции [1, 2]. В данной модели в качестве исходных данных использовалось количество пробоев изоляции на выбранном участке кабельной сети по годам эксплуатации.

Однако для увеличения точности прогноза корректнее использовать удельное количество повреждений изоляции в зависимости от длины кабельной сети. Необходимо учитывать, что длина кабельной сети изменяется в связи с реконструкцией, развитием города и изменением конфигурации электрической схемы сети.

Поскольку появляющаяся информация характеризуется в некотором аспекте неопределенностью и тем, что дискретная случайная величина может принимать не только целые положительные (но и дробные положительные) значения, необходимо использовать специальные методы исследования и построения моделей, например, теорию нечётких множеств.

Рассмотрим пример прогноза удельного количества повреждений изоляции (штук/км.) для одного из РЭСов Челябинских городских электрических сетей.

Располагая данными на период с 2000 по 2006 годы по месяцам о проведении ремонтных работ на кабелях и муфтах, положим 4 и 3 года – периоды удельного количества ремонтов кабелей в предшествующий и последующий моменты времени и определим связь между ними с помощью нечёткого отношения.

Определим среднеарифметические показатели удельного количества проведённых ремонтных работ за рассматриваемые периоды по месяцам года, а также определим функцию принадлежности этого количества нечётких подмножеств A и B.

Значения функции принадлежности элементов u_i множествам A и B определим как отношения среднеарифметического показателя за соответствующий период времени 4 года и 3 года к максимальному годовому показателю табл. 1.

Таблица 1

Вычисление функции принадлежности

Месяц	Макс. показатель	Среднеарифм. показатели за:		$\mu_A(u_i)$	$\mu_B(u_i)$
		4 года	3 года		
янв.	0,02084	0,0027	0,00695	0,12930	0,33333
февр.	0,01085	0,00813	0,00520	0,74915	0,47953
март	0,01067	0,00400	0,00347	0,37780	0,32566
апр.	0,02134	0,00944	0,00865	0,44235	0,40526
май	0,02181	0,01486	0,00518	0,68102	0,23732
июнь	0,02067	0,01359	0,00862	0,65775	0,41717
июль	0,02769	0,0191	0,01902	0,68826	0,68683
авг.	0,03272	0,01633	0,01558	0,49902	0,47601
сент.	0,03648	0,01897	0,01735	0,51999	0,47553
окт.	0,03817	0,02048	0,00694	0,53658	0,18189
нояб.	0,01636	0,01224	0,00173	0,74805	0,10590
дек.	0,02134	0,01083	0,00347	0,50759	0,16241

* Исследования проведены при государственной поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских учёных – кандидатов наук (шифр заявки: МК–1402.2009.8).

Определив нечёткие подмножества A:
$A = \{u_1/0{,}12930; u_2/0{,}74915; u_3/0{,}37780; u_4/0{,}44235;$
$u_5/0{,}68102; u_6/0{,}65775; u_7/0{,}68826; u_8/0{,}49902;$
$u_9/0{,}51999; u_{10}/0{,}53658; u_{11}/0{,}74805; u_{12}/0{,}50759\}$
и B универсального множества U:
$B = \{u_1/0{,}33333; u_2/0{,}47953; u_3/0{,}32566; u_4/0{,}40526;$
$u_5/0{,}23732; u_6/0{,}41717; u_7/0{,}68683; u_8/0{,}47601;$
$u_9/0{,}47553; u_{10}/0{,}18189; u_{11}/0{,}10590; u_{12}/0{,}16241\}$,
определим и соответствующие подмножества $\overline{A}$ и $\overline{B}$ по формуле: $\int u_i/(1-\mu_i)$.
$\overline{A} = \{u_1/0{,}87070; u_2/0{,}25085; u_3/0{,}62220; u_4/0{,}55765;$
$u_5/0{,}31898; u_6/0{,}34225; u_7/0{,}31174; u_8/0{,}50098;$
$u_9/0{,}48001; u_{10}/0{,}46342; u_{11}/0{,}25195; u_{12}/0{,}49241\}$.
$\overline{B} = \{u_1/0{,}66667; u_2/0{,}52047; u_3/0{,}67434; u_4/0{,}59474;$
$u_5/0{,}76268; u_6/0{,}58283; u_7/0{,}31317; u_8/0{,}52399;$
$u_9/0{,}52447; u_{10}/0{,}81811; u_{11}/0{,}89410; u_{12}/0{,}83759\}$.

Найдя декартовы произведения $A \times B$ и $\overline{A} \times \overline{B}$, можно определить нечёткое бинарное отношение R, определяющее взаимосвязь между предшествующим и последующим состояниями по правилу [3]:

$$R = A \times B + \overline{A} \times \overline{B}.$$

Найдем $A \times B$ и $\overline{A} \times \overline{B}$, используя формулу:

$$A \times B = \min\left(\mu_{i(A)}(u_i), \mu_{k(B)}(u_k)\right),$$

где u_i – элемент множества $A\,(u_i \in A)$; элемент u_k – элемент множества $B\,(u_k \in B)$; $i, k = \overline{1, m}$.

По аналогичной формуле определяется и декартово произведение $\overline{A} \times \overline{B}$.

$$A \times B = (0{,}12930\ 0{,}74915\ 0{,}37780\ ...) \times \begin{pmatrix} 0{,}33333 \\ 0{,}47953 \\ 0{,}32566 \\ ... \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0{,}12930 & 0{,}12930 & ... & ... \\ 0{,}33333 & 0{,}47953 & ... & ... \\ 0{,}33333 & 0{,}37780 & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \end{pmatrix}.$$

Аналогично определяем $\overline{A} \times \overline{B}$:

$$\overline{A} \times \overline{B} = (0{,}87070\ 0{,}25085\ 0{,}62220\ ...) \times \begin{pmatrix} 0{,}66667 \\ 0{,}52047 \\ 0{,}67434 \\ ... \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0{,}66667 & 0{,}52047 & ... & ... \\ 0{,}25085 & 0{,}25085 & ... & ... \\ 0{,}62220 & 0{,}52047 & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \end{pmatrix}.$$

Определим отношение, характеризующее предыдущее и последующее состояния, используя то свойство, что если $A \times B = X$, $\overline{A} \times \overline{B} = Y$, то $X + Y$ определяется выражением:

$$\mu_{X+Y}(a, b) = \max(\mu_X(a, b), \mu_Y(a, b)).$$

Получаем, что бинарное отношение равно:

$$R = \begin{pmatrix} 0{,}12930 & 0{,}12930 & ... \\ 0{,}33333 & 0{,}47953 & ... \\ ... & ... & ... \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0{,}66667 & 0{,}52047 & ... \\ 0{,}25085 & 0{,}25085 & ... \\ ... & ... & ... \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0{,}66667 & 0{,}52047 & ... \\ 0{,}33333 & 0{,}47953 & ... \\ ... & ... & ... \end{pmatrix}.$$

Согласно композиционному правилу вывода имеем:

$$B^* = A^* \circ R,$$

где A^* и B^* – нечёткие подмножества, характеризующие предшествующее и последующее состояния соответственно.

Композиция определяется выражением:

$$\mu_{A^* \circ R}(a, (a, b)) = \max\left(\min\left(\mu_{A^*}(a), \mu_R\ (a, b)\right)\right).$$

Таким образом, множество A^* характеризует состояние удельного числа пробоев изоляции кабельной сети в период, предшествующий прогнозируемому.

Так, в нашем случае, например, для прогноза удельного количества ремонтных работ на 2004 год используем нечёткое подмножество:
$A^* = \{u_1/0{,}25589; u_2/0{,}98336; u_3/0{,}10000; u_4/0{,}10000;$
$u_5/0{,}97809; u_6/0{,}77431; u_7/0{,}77047; u_8/0{,}32603;$
$u_9/0{,}43867; u_{10}/0{,}13973; u_{11}/0{,}65206; u_{12}/0{,}100000\}$,
где

$$\mu_i = \frac{u_i(2003)}{u_{\max}}.$$

Тогда получаем, что:

$$B^* = (0{,}25589\ 0{,}98336\ ...) \times \begin{pmatrix} 0{,}66667 & 0{,}52047 & ... \\ 0{,}33333 & 0{,}47953 & ... \\ ... & ... & ... \end{pmatrix} =$$

$$= (0{,}25589 \quad 0{,}68683 \quad ...).$$

Переходя от значений функции принадлежности к показателям удельного количества работ по монтажу муфт, получаем следующие результаты прогноза на 2004 год.

Удельное число пробоев в январе составило $0{,}00695 \cdot 0{,}25589 = 0{,}00176$.

В феврале это число составило $0{,}00520 \cdot 0{,}68683 = 0{,}00357$, и так далее можно определить прогноз удельного количества ремонтных работ.

Сравнивая полученные значения с фактическим удельным количеством ремонтных работ 2004 года (в январе 0,020844 и в феврале 0,005211), получаем, что прогнозируемые значения пробоев изоляции укладываются в доверительный интервал.

Собранные нами статистические данные в городских сетях показывают, что повреждаемость изоляции силовых кабелей напряжением 6(10) кВ городских электрических сетей и повреждаемость

муфт во многом зависят от качества прокладки силовых кабелей, уровня и культуры их обслуживания, качества проведения ремонтных работ и монтажа муфт.

Таким образом, представленная в данной статье методика позволяет в отличие от вероятностных методов, вполне эффективных для технических систем, в которые не включён человек, отображать и прогнозировать явления и процессы (безопасное состояние изоляции), в которых существенную роль играет человеческий фактор.

Список литературы:

7. 1. Математическая модель повреждаемости изоляции силовых кабельных линий городских электрических сетей / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, Е.Ю. Юрченко, А.Б. Николаевский. – Электрические станции, 2008, № 8.
8. 2. Юрченко Е.Ю. Оценка состояния изоляции городских кабельных линий напряжением 6–10 кВ с разработкой рекомендаций по улучшению условий электробезопасности: дис. ...канд. тех. наук / Е.Ю. Юрченко. – Челябинск, 2009. – 130 с.
9. 3. Номоконова О.В. Применение нечётких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций: дис. ... канд. техн. наук / О.В. Номоконова. – Челябинск, 2003. – 100 с.

ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ СТАНЦИЕЙ

Кравчук П.В.

Научный руководитель: Гарганеев А.Г., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kravchuk_PV@vtomske.ru

В последние годы в связи с широким внедрением в сферу управленческих технологий высокоинтеллектуальных, компьютеризированных систем передачи и обработки информации и одновременным ужесточением требований к надежности функционирования этих систем особую важность и актуальность приобретают требования, предъявляемые к параметрам, принципам построения структуры систем бесперебойного Электропитания (СБЭП) и их взаимодействию с другими источниками электроэнергии.

Для повышения надежности функционирования ответственных потребителей предприятий построение системы аварийного электроснабжения должно включать в себя дизель-генераторную станцию (ДГС) и статическую СБЭП переменного тока. Согласно представленной схеме (рис. 1), в штатном режиме электроснабжение потребителей происходит от промышленной сети. В случае чрезмерного отклонения или исчезновения напряжения в городской сети СБЭП безобрывно переводит на себя питание потребителей.

Через некоторое заданное время, необходимое для запуска и выхода на режим ДГС, или в случае критического разряда АБ, начинается резервное электроснабжение от ДГС. При хорошем качестве напряжения станции СБЭП автоматически синхронизируется с ДГС и безобрывно передает ей ответственных потребителей. При появлении напряжения промышленной электросети начинается обратный автоматический перевод потребителей со СБЭП (ДГС) на сеть. В случае если потребители работали от ДГС, перевод осуществляется в два этапа: сначала при отключении ДГС СБЭП безобрывно переводит всех потребителей на себя, а затем, после синхронизации также безобрывно отдает их промышленной сети [1].

В ходе этих динамических процессов, показатели качества электроэнергии должны соответствовать ГОСТу 13109-97 [2]. Стандартом установлены нормально допустимые и предельно допустимые значения показателей, например:

1. Отклонение напряжения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения отклонения на выводах приемников электроэнергии, соответственно, в ±5 и ±10 % от номинального напряжения электрической сети.

2. Несинусоидальность напряжения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения должны быть не более 8 % в точках общего присоединения к электрическим сетям с номинальным напряжением 380/220 В.

3. Отклонение частоты. Нормально допустимое и предельно допустимое значения: +0,2 и +0,4 Гц, соответственно.

4. Провал напряжения в электрических сетях с напряжением до 20 кВ не должен превышать 30 с.

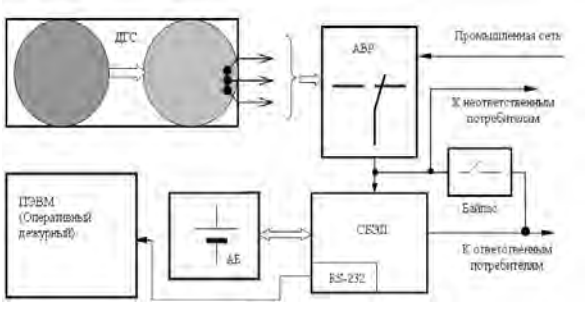


Рис. 1. Структурное построение систем аварийного электроснабжения предприятия с ДГС и СБЭП

На характер взаимодействия СБЭП и ДГС влияет целый ряд факторов, связанный, прежде всего, с принципом действия ДГС и СБЭП.

В качестве источника электрической энергии в ДГС используется синхронный генератор. Переключение СБЭП на ДГС аналогичной мощности приводит к переходным процессам, в частности к провалу напряжения синхронного генератора, которое в процессе отработки контуром обратной связи генератора может быть воспринято датчиками напряжения СБЭП как выход внешней сети за пределы нормы. Несмотря на то, что регуляторы напряжения ДГС дают стабилизацию напряжения в установившемся режиме ±0,5 или ±1,5 %, при подключении нагрузки неизбежные «просадки» составляют 15–20% от номинального напряжения. В результате у неправильно взаимно подобранных по мощности и постоянным времени контуров ДГС и СБЭП может возникнуть автоколебательный режим чередования переключения потребителя с ДГС на СБЭП и т. д.

Следующая особенность взаимодействия СБЭП и ДГС вытекает из особенностей работы синхронного генератора на различные виды нагрузок. Если генератор работает на активно-индуктивную нагрузку, то, кроме падения напряжения на его внутреннем сопротивлении, возникает еще и так называемая размагничивающая реакция якоря, приводящая к еще большему падению напряжения. При работе на активно-емкостную (или чисто емкостную) нагрузку возникает намагничивающая реакция якоря, приводящая к повышению напряжения на выходе генератора. При этом работа на емкостную нагрузку является крайне нежелательной или даже недопустимой. Таким образом, характер переходного процесса при коммутациях потребителя со СБЭП на ДГС может быть непредсказуемым [1].

Возникает также необходимость более детального рассмотрения и количественной оценки влияния токов высших гармоник на тепловые режимы работы синхронного генератора и нахождения рационального способа перевода нагрузки с СБЭП на ДГС.

Нахождение оптимальной мощности ДГС может быть произведено при правильном определении:

• мощности, которую должна вырабатывать ДГС для обеспечения нужд потребителей;

• мощности, расходуемой ДГС на компенсацию энергии, затраченной аккумуляторной батареей СБЭП на питание нагрузки в течение времени пуска и выхода на рабочий режим ДГС, а также способа этой компенсации;

• мощности, затрачиваемой на зарядку входных цепей (фильтров) СБЭП при подключении ДГС.

В результате суммарная нагрузка, подключаемая к ДГС, достигает величины, существенно превышающей входную мощность СБЭП. Последнее, в свою очередь, заставляет увеличивать установочную мощность ДГС, что крайне неэкономично (получаемый при этом избыток мощности используется только при подключении СБЭП, в течение секунд) и технически нежелательно (снижение относительной мощности приводит к необходимости более частого «прожига» дизеля).

Увеличения мощности ДГС можно избежать и, более того, добиться ее снижения, заменив СБЭП с одномоментным («наброс») подключением нагрузки на СБЭП с программным («плавный старт») подключением.

Современные СБЭП оборудуют устройствами программного подключения к ДГС разного типа – с плавным или ступенчатым вводом в работу. Вне зависимости от типа, все они обеспечивают нормированное подключение нагрузки к ДГС. Наиболее совершенные, выполненные с плавным вводом в работу, позволяют путем несложной перерегулировки, которая может быть выполнена непосредственно на месте монтажа (эксплуатации), устанавливать оптимальную для данной установки мощность, переводимую в единицу времени с аккумуляторной батареи СБЭП на ДГС. Экспериментальная проверка подтвердила, что перевод осуществляется плавно, практически без изменения частоты вращения вала приводного дизеля и, соответственно, частоты тока, что свидетельствует об отсутствии перегрузки дизеля [3].

Также незначительно улучшить качество переходного процесса может применение любых регуляторов частоты вращения, изменяющих подачу топлива, на двигателях с высоким наддувом. Следует только иметь ввиду, что при установке на двигатели электронных регуляторов особое внимание нужно обращать на выбор типа исполнительных механизмов, неудачный выбор которых (недостаточное быстродействие) может свести к нулю все преимущества таких регуляторов.

Список литературы

1. Гарганеев А.Г., Шурыгин Ю.А. Системы электропитания ответственных потребителей переменного тока на основе полупроводниковых преобразователей. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 228 с.
2. ГОСТ 1310-97. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт, 1988. – 42 с.
3. Цыркин М.И., Гольдинер А.Я., Тюляков К.А. Режимы работы и определение оптимальной мощности ДЭС в системе «ДЭС-ИБП». Электросистемы, 2001, №1(3) стр.8–11 (специализированное издание по энергетике и системам бесперебойного электропитания).

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННЫХ КОММУТАЦИЙ НЕНАГРУЖЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Лебедев И.А.,

Научный руководитель: д.т.н., проф. Кадомская К.П.

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, E-mail: i.a.lebedev@gmail.com

Вакуумные выключатели в настоящее время являются одним из самых современных и перспективных типов коммутационных аппаратов на классах напряжения 6–35 кВ. Удалось этого достичь за счет отличительных свойств вакуумных выключателей, среди которых пожаро- и взрывобезопасность, большой коммутационный ресурс, большой безремонтный срок службы. Единственным существенным недостатком вакуумных выключателей является их свойство генерировать перенапряжения при коммутациях индуктивной нагрузки.

При коммутациях трансформаторов наиболее тяжелой операцией с точки зрения возникающих перенапряжений является отключение ненагруженных трансформаторов. Объясняется это большой запасаемой в трансформаторе магнитной энергией, а также тем, что значение тока холостого хода при отключении часто меньше величины тока среза, что приводит к практически мгновенному прерыванию тока после начала разведения контактов и повторным зажиганиям из-за недостаточной электрической прочности межконтактного промежутка согласно формуле, приведенной ниже:

$$U = k \cdot (t + t_0), \qquad (1)$$

где t – текущий момент времени, k – скорость восстановления электрической прочности, t_0 – время от начала движения контактов до погасания дуги.

Из-за приведенных выше особенностей коммутаций при отключениях трансформаторов возникают повторные зажигания дуги в межконтактном промежутке вакуумных дугогасящих камер, которые в свою очередь приводят к возникновению крутых импульсов напряжения, воздействующих на межвитковую изоляцию. Воздействия на межвитковую изоляцию приводят к ее деградации и последующему выходу трансформаторов из строя, что особенно проявляется при коммутациях воздушных трансформаторов, обладающих облегченной изоляцией, и трансформаторов с литой изоляцией, не имеющей свойств «самозалечивания» в отличие от трансформаторов с масляной изоляцией.

Поэтому при применении вакуумных выключателей необходимо применять специальные меры по снижению перенапряжений.

Способы снижения перенапряжений. Существуют различные способы снижения перенапряжений, направленные на защиту изоляции нагрузки (двигателей, трансформаторов) при коммутациях вакуумными выключателями. К наиболее распространенным в настоящее время относятся установка нелинейный ограничителей перенапряжений (ОПН), эффективность которых при коммутациях вакуумными выключателями невысока из-за специфики возникающих перенапряжений и установка демпфирующих *RC*-цепей, являющихся более эффективной мерой снижения коммутационных перенапряжений, но установка которых при соединении в звезду с заземлением общей точки приводит к увеличению тока однофазного замыкания, а сама установка в некоторых случаях технически затруднительна. Принципиально иным способом снижения перенапряжений является применение управляемой (синхронной) коммутации индуктивной нагрузки, при которой не возникает повторных зажиганий, а специальных защитных средств при этом не требуется.

Моделирование синхронного отключения ненагруженных трансформаторов.

Для оценки эффективности синхронных отключений ненагруженных трансформаторов были проведены соответствующие расчеты с помощью математической модели, основывающейся на схеме рис. 1.

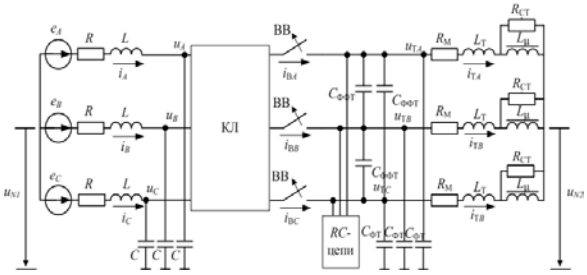


Рис. 1. Расчетная схема отключения ненагруженного трансформатора

Схема рис. 1 соответствует схеме эксплуатации воздушных трансформаторов в составе взрывозащищенных подстанций на горнорудных предприятиях, имеющих высокую вероятность повреждаемости из-за близкого расположения вакуумного выключателя к коммутируемому трансформатору.

Выключатель моделировался в виде идеального ключа с возможностью возникновения токов среза и повторных зажиганий, межконтактная электрическая прочность которого описывалась уравнением (1). Модель трансформатора включала

в себя активные потери в обмотках и магнитопроводе трансформатора, а также индуктивность рассеяния обмоток и нелинейную индуктивность магнитопровода.

Пример результатов расчета приведен на рис. 2.

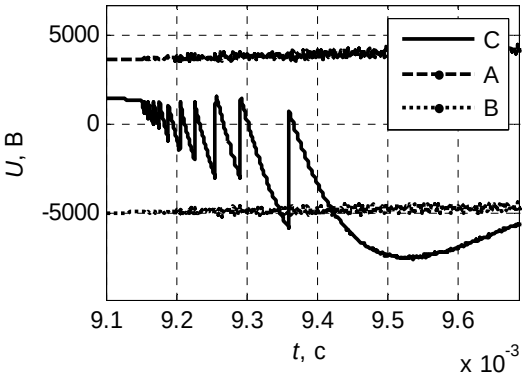


Рис. 2. Пример отключения фазы С вакуумного выключателя при коммутации трансформатора мощностью 630 кВА (k моделируется в виде кусочно-линейной функции, описываемой законом (1), и взята с экспериментальных результатов)

Расчеты показывают, что существует зависимость между мгновенным значением отключаемого тока и количеством повторных зажиганий (ПЗ). Зависимость при отключении фазы *A* трансформатора мощностью 630 кВА при *k*=20 кВ/мс показан на рис. 3. Анализируя график зависимости рис. 3, можно заключить, что управляемая коммутация позволит значительно снизить количество повторных зажиганий, а при достаточно высокой точности коммутации полностью избавиться от них.

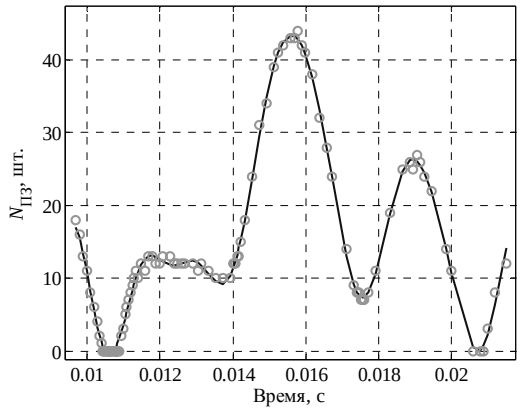


Рис. 3. График количества ПЗ в зависимости от момента коммутации

Также была выявлена зависимость количества повторных зажиганий от мощности коммутируемого трансформатора: с ростом мощности трансформатора и/или тока холостого хода происходит увеличение количества повторных зажиганий. Зависимость количества ПЗ от мощности коммутируемого трансформатора показана на рис. 4. Таким образом, при расчетах характеристик синхронного вакуумного выключателя для коммутации без повторных зажиганий необходимо брать за расчетный случай коммутацию наиболее мощного трансформатора.

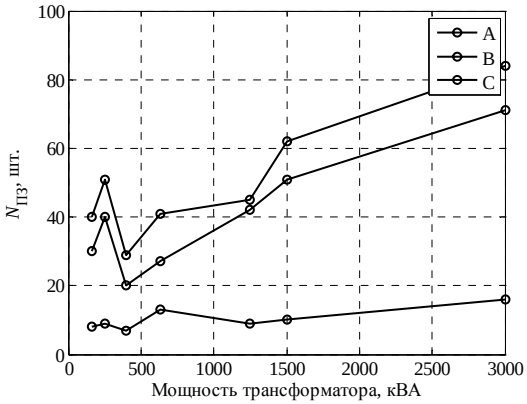


Рис. 4. Зависимость количества ПЗ от мощности трансформатора

При расчетах мощностью трансформаторов до 630 кВА включительно принимались параметры трансформаторов ТСВ, свыше 630 кВА – *TSEG*.

Зависимость количества ПЗ от длины питающего кабеля в схеме рис. 1 является незначительной, что объясняется спецификой схемы подключения.

Выводы

Неуправляемые коммутации могут сопровождаться большим количеством повторных зажиганий, тяжесть процесса зависит от параметров коммутируемого трансформатора, характеристик используемого вакуумного выключателя и момента коммутации. Воздействие на параметры нагрузки может осуществляться при помощи установки демпфирующих *RC*-цепей, но эта мера обладает некоторыми недостатками, не позволяющими всегда ее применять. Как показано выше, использование синхронных вакуумных выключателей является хорошим выходом из сложившейся ситуации, позволяющим избавиться от опасных перенапряжений без применения специальных защитных средств за счет коммутации в заданные моменты времени. При этом при расчетах характеристик синхронных вакуумных выключателей для надежной работы без повторных зажиганий необходимо принимать во внимание зависимости, приведенные в работе.

Список литературы

1. *Кадомская К.П. Лавров Ю.А., Рейхердт А.А.* Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 368 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ

Леонов С.В.

Научный руководитель: Кравченко И.В., главный диспетчер

Филиал ОАО «СО ЕЭС» Ленинградское РДУ, 194223, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 1
E-mail: kravchenko@lenrdu.so-ups.ru

Анализ развития энергосистем мегаполисов показывает, что рост нагрузок приводит к необходимости как увеличения числа генерирующих источников, так и расширения электрических сетей за счет ввода в эксплуатацию новых линий всех классов напряжения. При этом переход к передаче электроэнергии на более высоком классе напряжения приводит к следующим основным негативным факторам [1].

• В ремонтных и послеаварийных режимах вследствие большой разветвленности распределительных сетей 110–220 кВ возможна перегрузка линий, шунтирующих линии более высокого класса напряжения, транзитными перетоками, а также возникновение глубокого снижения напряжения в узлах нагрузки. Это приводит к необходимости секционирования сети, либо дополнительной установки автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО) или автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН).

• Увеличение токов короткого замыкания требует установки выключателей с более высокой отключающей способностью, применения специальных токоограничивающих устройств, осуществления схемно-режимных мероприятий, связанных, как и в предыдущем случае, с секционированием сети и внедрением автоматик ограничения токов короткого замыкания (АОТ).

Принципиально перечисленные выше факторы являются следствием трудностей регулирования активной мощности (тока) на переменном напряжении в электрических сетях без применения специальных устройств. К таковым могут быть отнесены как фазоповоротные устройства (FACTS), так и вставки постоянного тока (ВПТ) [2], позволяющие плавно и в широком диапазоне изменять величину передаваемой мощности, а также, при использовании ВПТ, снизить величины токов коротких замыканий.

В существующих условиях при ограниченном количестве перечисленных выше устройств и состоянии энергосистем для обеспечения надежности и живучести энергосистем в нормальных и аварийных режимах особая роль возлагается на обеспечение режима в соответствии с критерием «N-1». Для анализа ремонтных (послеаварийных) режимов энергосистемы и режимных мероприятий по ограничению тока в наиболее загруженном элементе схемы удобно использование обобщенной эквивалентной схемы района, представленной на рис. 1.

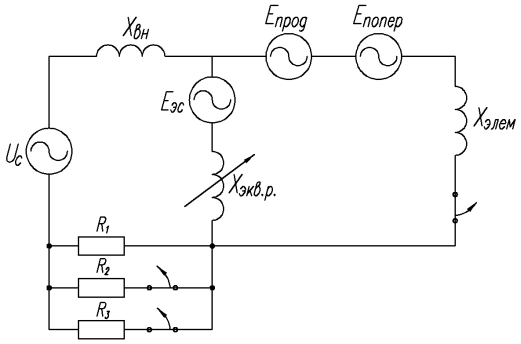


Рис. 1. Эквивалентная схема энергосистемы района

На представленной схеме Uc – напряжение шин бесконечной мощности, Хвн – внешнее сопротивление связи с системой бесконечной мощности, Хэлем – сопротивление исследуемого элемента схемы района, ХэквР – шунтирующее эквивалентное сопротивление прочих элементов района, Епрод – продольная составляющая э.д.с. генераторов электростанции в цепи рассматриваемого элемента, Епопер – поперечная составляющая э.д.с. трансформатора связи или устройств FACTS, ЕЭС – эквивалентная э.д.с. прочих генераторов электростанций, R1, R2 и т. д. – сопротивления, моделирующие нагрузку района, отключение потребителей вводом графиков аварийного ограничения потребителей, действие АОПО, АОСН и, при потере связи с системой, АЧР. Как видно из представленной на рис. 1 схемы в общем случае ограничение тока в перегружаемом элементе схемы района ***при практически неизменной мощности нагрузки района (P ≈ const)*** возможно за счет проведения следующих мероприятий:

• снижения генерации (Епрод) электростанций (при их наличии) в цепи рассматриваемого элемента;

• повышения генерации (ЕЭС) электростанций прочих электростанций района;

• уменьшения сопротивления ХэквР за счет ввода/вывода элементов схемы;

• отключения перегружаемого элемента сети при структурной избыточности сети района;

• регулирования реактивной мощности генераторами (ЕЭС, Епрод) и трансформаторами для минимизации ее перетока по перегружаемому элементу;

• регулирования активной мощности за счет использования поперечного регулирования (Епопер) автотрансформаторов, либо устройствами FACTS.

В условиях рыночных отношений оперативное изменение генерации электростанций в аварийных режимах, равно как и отключение элементов сети, существенно снижающих надежность при перегрузке оборудования, не могут рассматриваться как оптимальные. Наиболее эффективными являются мероприятия по регулированию активной/реактивной мощности фазоповоротными устройствами. На примере одного из характерных энергорайонов мегаполиса рассмотрим преимущества их применения. На рис. 2 представлена принципиальная схема района, имеющего связь с системой на напряжении 330 и 110 кВ.

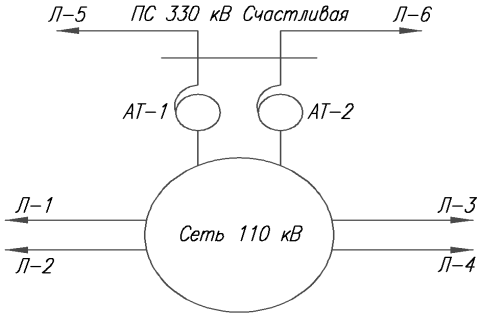


Рис. 2. Принципиальная схема энергорайона

В нормальных режимах включение в транзит Л-1 и Л-2 невозможно в силу их перегрузки транзитными перетоками мощности. Оперативный ввод линий в работу осуществляется в ремонтных и аварийных режимах, в случаях потери связи района с системой на напряжении 330 кВ. В этих случаях аварийная ситуация также сопровождается глубоким снижением напряжения в сети района из-за большого внешнего сопротивления связи с системой по линиям 110 кВ. Очевидно, что при включенных в транзит Л-1 и Л-2 и возможности регулирования по ним перетоков активной мощности, надежность электроснабжения района существенно увеличиться. В схеме энергорайона (рис. 2) существенное ослабление сети в ремонтных режимах связано преимущественно с выводом элементов связи 330–110 кВ (шин 330 кВ, автотрансформаторов, ВЛ–330 кВ) на ПС 330 кВ Счастливая. В качестве одного из мероприятий, широко применяемых в настоящее время и позволяющих в ряде схемно-режимных условий обеспечить выполнение критерия надежности «N-1», является поперечное регулирование АТ 750/330 кВ на АЭС. Ограничение перетоков активной мощности в системообразующую сеть 330 кВ, равно, как и снижение перетока мощности в район (рис. 2) из сети 330 кВ осуществляется за счет увеличения передачи мощности АЭС по линии 750 кВ. Зависимости изменения токов и активной мощности по Л-1 и Л-2 от положения анцапф поперечного регулирования АТ 750/330 кВ проиллюстрированы на рис. 3. Однако это мероприятие не является универсальным, поскольку диапазон поперечного регулирования ограничен допустимыми перетоками мощности в контролируемых сечениях сети 330–750 кВ, а также изменение положения анцапф поперечного регулирования АТ 750/330 кВ требует согласования на вышестоящих уровнях диспетчерского управления, что существенно снижает область оперативного его применения. В то же время применение рассматриваемого мероприятия позволяет расширить диапазон возможных ремонтных режимов в рассматриваемом районе. Наиболее эффективным мероприятием, позволяющим существенно расширить область ремонтных режимов при выполнении критерия надежности «N-1» является применение фазоповоротного устройства в непосредственной близости с сетью энергорайона района (рис. 2). В данном случае эту функцию целесообразно реализовать путем применения вольтотдобавочного трансформатора, устанавли-ваемого в нейтрали АТ-1 и АТ-2 330/110 кВ (2х240 МВА) с собственной мощностью 40 МВА со сдвигом добавочной э.д.с. на 90град. [3]. Диапазон такого регулирования, как это видно на рис. 3(а,б), существенно больше, что позволяет расширить область возможных ремонтных режимов при выполнении критерия надежности «N-1». В дополнении к сказанному необходимо отметить, что снижение транзитных перетоков в сети 110 кВ рассматриваемого района и передаче транзита электроэнергии на напряжении 330 кВ приводит к заметному снижению потерь в районе.

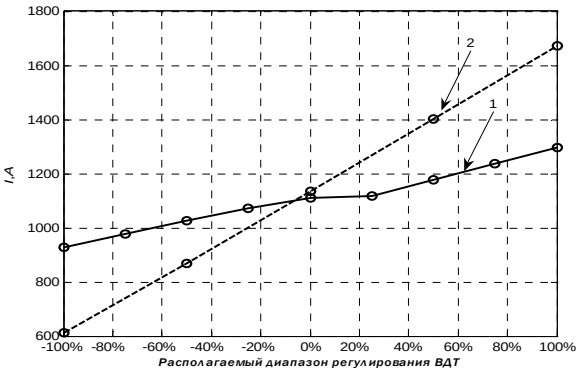


Рис. 3. Изменение величины тока в контролируемом сечении при поперечном регулировании АТ 750/330кВ на ЛАЭС (1) и на АТ-1,2 330/110кВ на ПС Счастливая (2)

Список литературы

1. Особенности управления электроэнергетическими режимами работы энергосистем мегаполисов / Шульгинов Н.Г. – Энергетик, 2007, №6.
2. Системные аварии и меры по их предотвращению / Алексеев Б.А. – Энергетик, 2008, №12.
3. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы): учеб. пособие для вузов. – М., «Высшая школа», 1975.

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ В СКВАЖИНЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

ЛИ Дуншуан[1,2]

Научные руководители: Зиновьев Н.Т.[1], Ван Маосэнь[2]

[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Цзилиньский университет, 130026, Китай, г. Чанчунь, пр. Миньджу, 6
E-mail: caulds@126.com

Создания свайных фундаментов в условиях слабых грунтов, особенно в условиях уплотняющей застройки городов, ремонт и укрепления фундаментов для ветхого жилья, укрепление грунтов на оползневых участках, создание надежных анкерных оснований при сооружении ЛЭП и др. требуют использования набивных свай, которые в отличие от забивных изготавливаются непосредственно на объекте. Основной проблемой является качество набивных свай и их несущая способность. Для решения этой проблемы предлагается использовать электроразрядную технологию обработки бетонной смеси в скважине, что позволит улучшить качество тела сваи, задаст ей требуемую форму, как в основании, так и по длине.

Сущность электроразрядной технологии заключается в том, что скважина, заполненная мелкозернистым бетонном или цементным раствором, обрабатывается серией высоковольтных электрических разрядов. При этом возникает электрогидравлический эффект, в результате которого формуется тело сваи или корня анкера, уплотняется окружающий грунт. Первоначальный диаметр скважины 130–300 мм в результате обработки расчетной серией разрядов может быть увеличен, в зависимости от энергии, подаваемой в скважину и гидрогеологических условий площадки, более чем в 2 раза. Окружающие грунты уплотняются, снижается пористость в зоне воздействия ударного импульса. Динамическое воздействие, возникающее в процессе формирования, за пределами зоны обработки незначительно и не оказывает вредного воздействия на усиливаемые конструкции и рядом стоящие здания. Электроразрядная технология экологически безвредна. Данная технология позволяет формовать сваи и анкера различной конфигурации с уширением в одном или нескольких уровнях. Изготовленные сваи по этой технологии получили сокращенное наименование – сваи РИТ [1].

Процесс изготовления свай включает следующие операции:

- бурение скважины диаметром 0,15–0,32 м;
- заполнение скважины мелкозернистым бетоном литой консистенции;
- размещение в скважине излучателя энергии–разрядника;
- обработка ствола и пяты по выбранному режиму серией электровзрывов с одновременной доливкой бетона;
- формирование головы сваи;
- уход за бетоном.

В качестве материала свай РИТ используются различные типы мелкозернистых бетонов, применяемых в зависимости от условий строительства и характера работы свай в конструкции. Для приготовления мелкозернистых бетонов применяется цемент марки не ниже 400 со сроком схватывания не менее 3 часов, а в качестве инертного заполнителя – песок мелко- и среднезернистый с модулем крупности не более 2.0. Морозостойкость и водонепроницаемость бетона должны соответствовать маркам, установленным проектом.

В настоящее время между Научно-исследовательским институтом высоких напряжений ТПУ и Инженерно-строительным институтом Цзилиньского университета ведется конструктивное сотрудничество по разработке электроразрядной технологии для обработки бетонной смеси в скважине при изготовлении буронабивных свай. НИИ высоких напряжений

ТПУ по контракту разрабатывает электроразрядную установку HDVID50, технические характеристики и состав которой нижеследующие изложения:

Технические характеристики установки HDVID50:

- напряжение питания 380 В;
- частота 50 Гц;
- потребляемая мощность 10 кВА;
- амплитуда напряжения импульса 9кВ;
- энергия импульса 50кДж;
- частота следования импульсов 0,1 имп./сек;
- длина (макс.) 20 метров;
- диаметр скважины(макс.) 0,15метра;
- наполнитель мелкозернистый бетон.

Условия эксплуатации:

- температуре окружающей среды от –15 до +30 °С.
- относительной влажности воздуха не более 95%.

Состав и структурная схема установки **HDVID 50** показана на рис. 1.

Испытания установки на строительной площадке Инженерно-строительного института Цзилиньского университета планируются в летний период 2010 г.

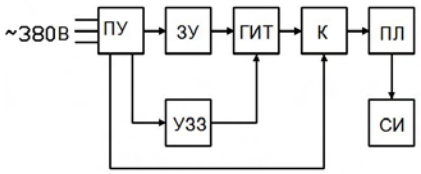


Рис. 1. Структурная схема установки: ПУ-пульт управление; ЗУ-зарядное устройство; УЗЗ-устройство защитного заземления; ГИТ-генератор импульсных токов; К-коммутатор генератора импульсных токов; ПЛ-передающая линия; СИ-снаряд-излучатель

По результатам испытаний будет принято решение об использовании электроразрядной технологии обработки бетонной смеси в скважине при изготовлении буронабивных свай в КНР

Список литературы

1. Бухов В.М. Электроразрядная технология в строительстве // Транспортное строительство. – 1997. – № 10. – С. 32–33.

МНОГОФАЗНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА МОДУЛЯХ

Белицкая Л.А., Лоскутникова К.А., Писниченко А.О.

ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», 634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»
E-mail: POLUS@ONLINE.TOMSK.NET

Развитие статических преобразователей электрической энергии, достижения в области технологии полупроводниковых приборов предопределили дальнейшее совершенствование автономных систем электропитания постоянного напряжения 27…30 В. Использование низковольтного преобразователя напряжения позволяет повысить КПД исполнительных систем с применением электрических машин, исключить контактные элементы, снизить токи при пуске аппаратуры [1].

Импульсный стабилизатор на основе преобразователя напряжения в системах электропитания обеспечивает подавление пульсаций напряжения, осуществляет стабилизацию уровня напряжения, питающего сеть.

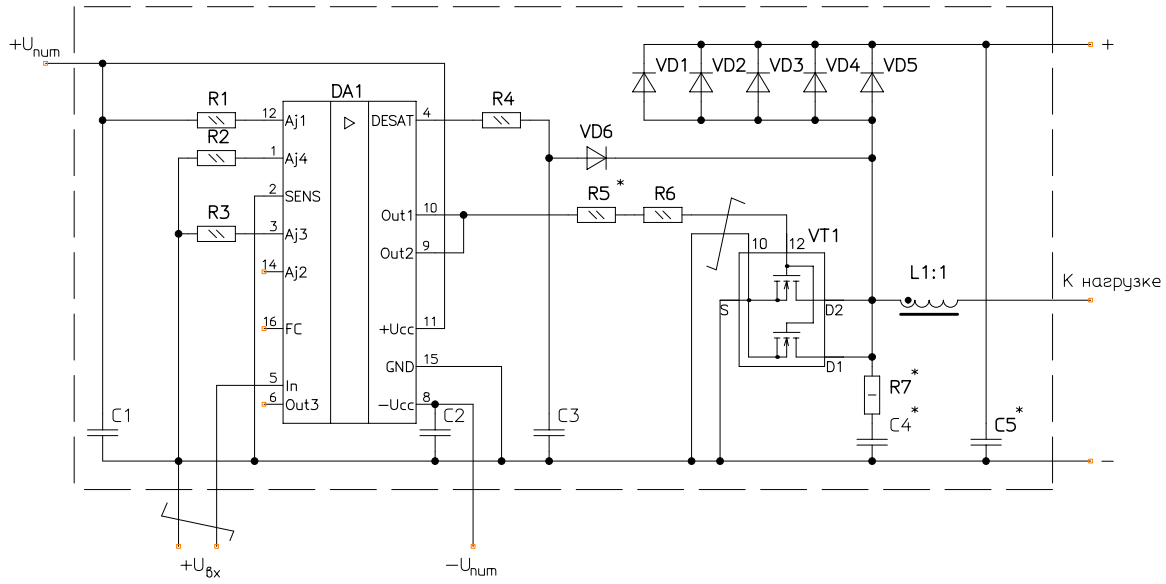


Рис. 1. Принципиальная схема силовой ячейки

Для выполнения перечисленных функций стабилизатор напряжения должен отвечать следующим требованиям: обладать высокими КПД, удельной мощностью и надежностью; регулировать мощность до десятков киловатт; при рабочих токах несколько сотен ампер обеспечивать высокое качество выходного напряжения; ограничивать ток нагрузки.

Перечисленным требованиям в большей мере (по сравнению с другими возможными вариантами построения) отвечает схема многофазного стабилизатора [2], построенная на самозащищенных модулях. Предлагается принципиальная схема силовой ячейки одной фазы многофазного импульсного стабилизатора постоянного напряжения (далее «МИСПН») на модулях (рис. 1), его функ-

циональная схема (рис. 2, табл. 1). Особенностью МИСПН является наличие элементов защиты силового ключа, реализованных на микросхеме 1474ХХ3Т.

Драйвер управляет затвором силового ключа, обеспечивает его защиту при возникновении аварийных ситуаций и передает сигнал об аварии на схему управления.

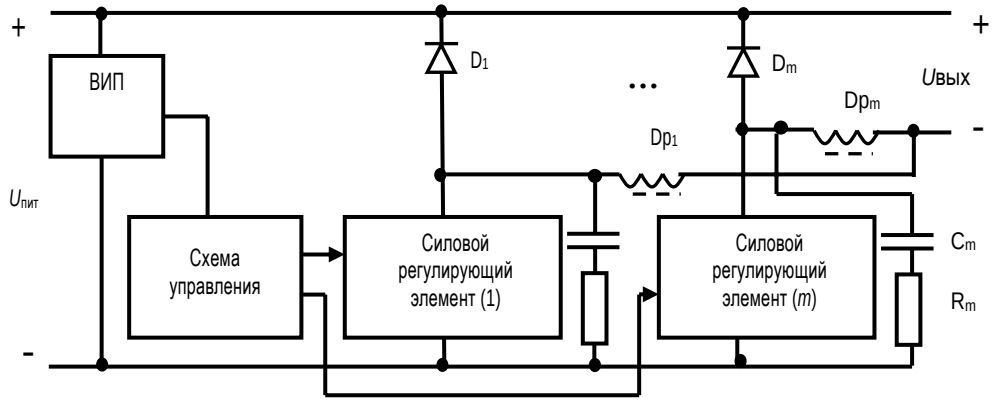


Рис. 2. Функциональная схема МИСПН

Конденсаторы С1, С2, С5 – блокировочные по цепям питания, их номинал определяют уровень напряжения пульсаций на шинах питания. Конденсатор С3 задает время задержки выключения силового транзистора при его выходе из насыщения.

Резистор R1 ограничивает режимные токи в основных блоках микросхем. Номинал резистора R2 определяет напряжение срабатывания токовой (тепловой) защиты, номинал резистора R3 – напряжение на коллекторе силового ключа, соответствующее аварийному режиму. Резистор R4 уменьшает бросок тока по цепи контроля насыщения модуля. Резисторы R5 и R6 исключают колебательный переходный процесс на затворе модуля и позволяют подстраивать время включения и выключения модуля.

Частота коммутаций МИСПН выбирается исходя из условий минимума массы фильтрующего дросселя и конденсатора, а также с учетом динамических характеристик узлов и элементов МИСПН, главным образом силовых модулей и диодов VD1…VD5. Емкость конденсатора С4 и сопротивление резистора R7 выбираются экспериментально. Емкость конденсатора фильтра С5 также подбирается экспериментально исходя из минимальных пульсаций выходного напряжения. Номинальные значения параметров дросселя рассчитываются по формуле [3].

Другая особенность схемы МИСПН – наличие схемы управления, построенной с использованием ЦАП с многофазными выходными сигналами управления, которая цифровым способом организует равномерный фазовый сдвиг по времени импульсов управления с цифровым заданием скважности [4]. Соответственно, обеспечивается равномерное распределение токовой загрузки между силовыми элементами.

Кроме блока управления и четырех силовых ячеек, в состав МИСПН входит блок источника вторичных напряжений (ВИП), включающий в себя схему формирования сигнала обратной связи по напряжению, общую для всех каналов МИСПН. В качестве управляющего элемента используется микросхема 1114ЕУ3, содержащая встроенный источник опорного напряжения, усилитель рассогласования опорного напряжения с выходным сигналом делителя напряжения, подключенного к выходу стабилизатора.

Таблица 1

Технические характеристики МИСПН

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В	29–34
Выходное напряжение, В	27
Выходной ток, А	400
Рабочая частота, кГц	15
Эффективная рабочая частота, кГц	60
Число фаз	4
Амплитуда пульсаций выходного напряжения, В	±0,1
КПД	0,93

Конструкция макета МИСПН размером $50\times26\times10$ мм выполнена из блоков с навесным монтажом деталей. Взаимное расположение отдельных узлов выбрано так, что силовые проводники от модуля до выходной шины имеют минимальную и одинаковую длину; драйверы находятся рядом с соответствующими силовыми модулями; все управляющие проводники выполнены витой парой (для исключения наводок) и также имеют минимальную длину.

Высокая надежность МИСПН обеспечивается блочной структурой и функциональной независимостью отдельных фазовых каналов. При выходе из строя одного силового регулирующего элемента МИСПН сохраняет работоспособность при увеличении уровня пульсаций выходного напряжения.

В случае отказа одного ключа каждый оставшийся будет перегружен в k раз. Коэффициент перегрузки при отказе вычисляется по формуле

$$k = m / (m - 1),$$

где m – число фаз. Очевидно, что коэффициент k уменьшается с увеличением числа фаз.

К мерам по улучшению работы МИСПН в аварийном режиме и увеличению надежности можно отнести загрузку элементов на 30 %, установку предохранителей в каждую фазу для исключения короткого замыкания в цепи фазы, установку одной фазной силовой ячейки на отдельный радиатор для улучшения теплосъема и минимизации взаимной связи между фазами, питание каждой фазы по лучевой схеме так, что функционирование не прекращается даже при обрыве питания ключа.

Применение МИСПН позволяет, во-первых, преодолеть существующие ограничения по току дальнейшим наращиванием фазности МИСПН или увеличением токовой загрузки силового регулирующего элемента, во-вторых, снизить пульсации выходного напряжения при той же емкости и индуктивности сглаживающего фильтра.

Принципы, реализованные в описанном МИСПН, применимы также к преобразователям других типов – повышающему, параллельному и пр.

Список литературы

1. Многофазный импульсный стабилизатор постоянного напряжения / А.И. Юрченко, В.А. Головацкий, В.П. Брагин и др. // Электронная техника в автоматике. 1978. – № 10. – С. 107–113.
2. Белицкая Л.А. Многофазный конвертор мощного двигателя постоянного тока // Изв. Том. политехн. ун-та, 2006. –№ 7. – С. 181.
3. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. А.с. 1356225 СССР. Цифро-аналоговый преобразователь с многофазным выходом / В.И. Кочергин // Открытия. Изобретения. 1987. № 44.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМОГО СОСТОЯНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Маликова Л.Р., Шмойлов А.В.

Томский политехнический университет
E-mail: shm_av@rambler.ru

В зависимости от параметров сети, в составе которой работает синхронный генератор или двигатель, его схемных и режимных параметров, вида и параметров системы регулирования его возбуждения функционирование может протекать нормально или с отклонением некоторых параметров. Наиболее существенны отклонения в эксплуатационных условиях по параметрам, обеспечивающим качество выработки или потребления электроэнергии. В связи с этим агрегаты оборудуются системами регулирования:

1) напряжения и связанной с ним реактивной мощности, что обеспечивается за счет автоматического изменения тока возбуждения;

2) скорости вращения агрегатов, частоты и определяемой ею выработки активной мощности генератором за счет автоматического изменения впуска энергоносителя в турбину или потребления данной мощности двигателем.

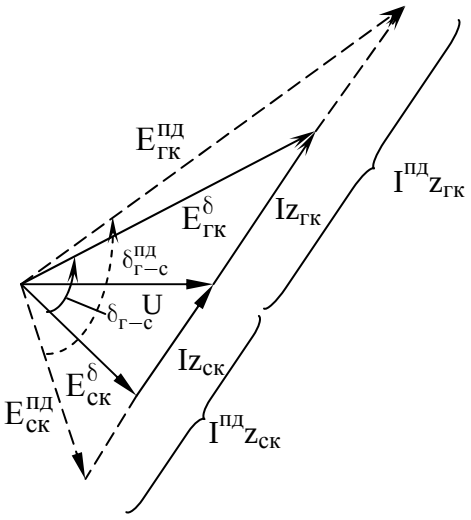
В зависимости от параметров режимов и схемы сети, на которую работает агрегат, могут возникнуть условия несоответствия требуемой сетью электрической мощности от генератора или потребной для двигателя мощности от сети с мощностью, обеспечиваемой схемными и режимными параметрами агрегата по условиям статической устойчивости его работы предельных токов статора и ротора. Контроль данного состояния агрегата важен как с точки зрения мощностей, вырабатываемых или потребляемых агрегатом, так и с точки зрения возможности сохранения нормального синхронного режима. Вырабатываемые или потребляемые электрические мощности могут быть изменены: путем регулирования тока возбуждения, изменяющего ЭДС в поперечной оси агрегата (в основном реактивная мощность), путем регулирования энергоносителя (вырабатываемая активная мощность) или момента сопротивления механизма (потребляемая активная мощность).

Нарушение колебательной устойчивости возможно и при слабой загрузке агрегатов. Однако это устраняется при правильной настройке регуляторов. Полагая такую настройку выполненной, остаются условия апериодического нарушения синхронного режима из-за ограничений по режимным параметрам агрегата. Например, напряжение генератора может быть лишь в узком диапазоне относительно номинального значения. Могут быть и другие ограничения, например, угол тока агрегата, ток возбуждения. В условиях ограничений фактический и предельно-допустимый (ПД) режимы зависят от электрических величин, включая величины с ограничениями.

Анализ показывает, что практически однозначно учесть электрические величины в условиях работы агрегата можно по величине фактической и ПД активной мощности агрегата. Последняя должна превышать фактическую, пока имеет место синхронный режим. Аналогичное соотношение имеет место для взаимного угла между ЭДС агрегата $\dot{E}_{гк}$ и остальной части энергосистемы $\dot{E}_{ск}$, т. е. ПД взаимный угол $\delta_{г-с}^{пд}$ всегда больше фактического $\delta_{г-с}$. Следовательно, можно использовать названные критерии для построения модели функционирующего синхронного агрегата

и вести контроль либо фактической и ПД активной мощности, либо фактического и ПД угла между ЭДС агрегата и системы.

В дальнейшем как более простой в аппаратурной реализации принят вариант схемы контроля предельного состояния синхронной машины по ПД взаимному углу между ПД ЭДС агрегата и системы. Причем при использовании регуляторов напряжения пропорционального действия, ПД взаимный угол может определяться не только ПД током возбуждения, но также и величиной угла $\pi/2$, как это следует из практического критерия простейшей последовательной цепи генератора, работающего на энергосистему. Векторные диаграммы данной цепи представлены на рисунке: для рабочего с ЭДС $E^{\delta}_{гк}$ и $E^{\delta}_{ск}$ (сплошные линии) и утяжеленного с ЭДС $E^{пд}_{гк}$ и $E^{пд}_{ск}$ (пунктирные линии) ПД режима. Последнее обеспечено в условиях неизменности углов падений напряжений $Iz_{гк}$ и $Iz_{ск}$, $Iz^{пд}_{гк}$ и $Iz^{пд}_{ск}$ на сопротивлениях электропередачи $z_{гк}$ и $z_{ск}$ или неизменности угла тока генератора I, $I^{пд}$ относительно его напряжения U. В соответствии с векторными диаграммами и принятым принципом контроля ПД угла ниже формируется принцип построения модели простейшей электропередачи генератора, работающего на энергосистему.



Модель электропередачи состоит из двух частей:

• - модуля фактических электрических величин режима: $\dot{E}_{гк}$ – ЭДС интересующего к-го агрегата в поперечной оси; $\dot{E}_{ск}$ – эквивалентная ЭДС энергосистемы относительно к-го агрегата; $Iz_{гк}$ и $Iz_{ск}$ – величины падений напряжений от тока I к-го агрегата или тока электропередачи на сопротивлении агрегата и эквивалентном сопротивлении системы; $\delta_{г-с}$ – угол между ЭДС агрегата и энергосистемы в рассматриваемом режиме.

• модуля ПД электрических величин, полученных путем утяжеления рабочего режима в условиях неизменного напряжения U на выводах агрегата и угла тока I этого агрегата относительно напряжения U или угла α падений напряжений $Iz_{гк}$ и $Iz_{ск}$ относительно напряжения U. ПД электрические величины: $E^{пд}_{гк}$, $E^{пд}_{ск}$, $Iz^{пд}_{гк}$, $Iz^{пд}_{ск}$, $I^{пд}$, $\delta^{пд}_{г-с}$ имеют те же обозначения, что и величины рабочего режима с добавлением верхнего индекса «пд». Электрические величины динамики в условиях утяжеления: $E^{\delta}_{гк}$, $E^{\delta}_{ск}$, $Iz^{\delta}_{гк}$, $Iz^{\delta}_{ск}$, I^{δ}, $\delta^{\delta}_{г-с}$ также обозначены теми же литерами с индексами, причем в качестве верхнего индекса используется обозначение «δ».

Модуль фактических электрических величин является по сути дела фантомной схемой, моделирующей ЭДС агрегата в поперечной оси через измеренное напряжение U на выводах агрегата и падения напряжения $Iz_{гк}$ и $Iz_{ск}$ от измеренного тока I агрегата. Модуль ПД электрических величин представляет собой модель формирования ПД величин при определенных заданных условиях: постоянных величинах напряжения U и угла φ, изменяющегося по величине тока I на выводах агрегата относительно напряжения U. Изменения статорного тока I агрегата могут выполняться (или должны быть ограничены) в пределах ПД величины тока ротора $I^{пд}_{f}$, или в других пределах величины тока ротора $I^{\pi/2}_{f}$, ограниченного взаимным углом $\delta_{г-с}=\pi/2$. Последнее имеет место при оборудовании синхронного агрегата регуляторами пропорционального действия. Таким образом, ПД электрические величины агрегата по условию устойчивости при работе его на сеть всегда ограничены величиной тока возбуждения: предельной его физической величиной $I^{пд}_{f}$, или величины $I^{\pi/2}_{f}$, определяемой взаимным углом $\delta_{г-с}=\pi/2$.

В соответствии с изложенным, принципиальные схемы должны включать модели формирования фактических и ПД электрических величин по статической устойчивости, а также сравнения фактического и ПД взаимных углов.

Модуль фактических электрических величин

построен на операционных усилителях, выполняющих следующие функции: преобразование тока генератора в падения напряжений на активном и реактивном сопротивлениях синхронной машины, суммирование данных падений напряжений, формирование фактических ЭДС в поперечной оси $\dot{E}_{гк}$ и $\dot{E}_{ск}$ в соответствии с векторной диаграммой рисунка, вспомогательные функции типа инвертирования при формировании ЭДС

$\dot{E}_{гк}$ и $\dot{E}_{ск}$. В состав модуля формирования фактических электрических величин входит также датчик фактического взаимного угла ДВУ-1, измеряющего угол между ЭДС агрегата $\dot{E}_{гк}$ и эквивалентной ЭДС $\dot{E}_{ск}$ остальной части энергосистемы.

Модуль ПД электрических величин может быть подразделен на контур отработки предельных электрических величин по условию ПД тока возбуждения и подсистему сравнений. Одна из них осуществляет сравнение ПД взаимного угла $\delta^{пд}_{г-с}$ между ПД ЭДС $\dot{E}^{пд}_{гк}$ генератора и $\dot{E}^{пд}_{ск}$ системы, вырабатываемого датчиком ДВУ-2, с фактическим взаимным углом $\delta_{г-с}$ между фактическими ЭДС $\dot{E}_{гк}$ генератора и $\dot{E}_{ск}$ системы, вырабатываемого датчиком ДВУ-1. Другая обеспечивает аналогичное сравнение 90° ПД взаимного угла $\delta^{90}_{г-с} = 90°$ между ЭДС $\dot{E}_{гк}$ генератора и $\dot{E}_{ск}$ с фактическим взаимным углом $\delta_{г-с}$ системы. Данное сравнение требуется при оснащении систем возбуждения синхронных машин регуляторами пропорционального действия. Контур отработки ПД электрических величин реализует свою функцию через автоматически регулируемое решающее сопротивление операционного усилителя, выполненное, например, на оптронной паре.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Минина А.А.

Научный руководитель: Платонова Е.В., к.т.н, доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», 655017, Россия, г.Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: Alegzendr-@mail.ru

Проблема качества электроэнергии на железных дорогах в России обусловлена традиционными особенностями тягового электроснабжения. На тяговых подстанциях переменного тока обычно устанавливаются мощные трехфазные трехобмоточные трансформаторы.

Одна из вторичных обмоток таких трансформаторов выполняется на напряжение 27,5 кВ и предназначена для питания тяговых нагрузок, а вторая напряжением 35кВ или 10(6) кВ – для питания районных нетяговых потребителей. Такую систему электрификации железной дороги совмещают с питанием районных потребителей. В результате на КЭ (качество электроэнергии) нетяговых потребителей влияют все режимы тяги и работа выпрямительных агрегатов электровозов. По воздействию на КЭ в энергосистеме тяговая сеть сопоставима только с дуговыми сталеплавильными печами. Помимо проблем, возникающих у потребителей районных сетей напряжением 35 или 10(6) кВ, также возникают сложности и у нетяговых потребителей, подключенных напрямую с контактной сетью. К ним относятся фидеры ДПР 25 кВ (система электроснабжения «два провода – рельс») и СЦБ (устройства сигнализации, централизации и блокировки).

Основной причиной их плохой работы является существенное снижение уровня напряжения на шинах подстанции, особенно на горных перевальных участках при движении тяжеловесных поездов. У трёхфазного трансформатора, используемого на тяговых однофазных нагрузках, появляются «отстающая» и «опережающая» фазы на шинах 25 кВ. Несимметрия напряжений около 2% появляется у тягового трансформатора уже при половине номинальной нагрузки и равной на обоих плечах питания.

В работе были произведены измерения показателей качества электроэнергии на трех тяговых подстанциях «Абаканской дистанции электроснабжения» в течение суток: на подстанции «Ташеба» – с 13.10.2009 г. по 14.10.2009 г., на подстанции «Камышта» – с 14.10.2009 г. по 15.10.2009 г., на подстанции «Бискамжа» – с 16.10.2009 г. по 17.10.2009 г.

Выбор подстанций был обусловлен различиями в рельефе местности (и соответственно, различной мощностью тяговой нагрузки), на которой они расположены. Подстанция «Ташеба» расположена на плоскогорье, а подстанции «Бискамжа» и «Камышта» – на горных участках, причем подстанция «Бискамжа» характеризуется самым крутым подъемом.

Замеры КЭ производились как на стороне первичного напряжения подстанций (110 кВ или 220 кВ), так и на стороне вторичных напряжений подстанций (27,5 кВ и 35 кВ) с помощью измерителей показателей качества электрической энергии типа «Ресурс-UF2». Этот прибор позволяет оценить интересующие нас показатели качества напряжения: установившееся отклонение напряжения, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения.

По замерам был составлен протокол измерений, по которым был произведен анализ ПКЭ.

Наблюдались как отклонения напряжения, так и несимметрия по обратной и нулевой последовательности. Но больший интерес представляли результаты измерения электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения. Анализ показал, что эти параметры определяются величиной тяговой нагрузки. Коэффициент несинусоидальности напряжения на всех подстанциях превышает пределы нормально допустимых значений (ГОСТ 13109-97) в течение продолжительных временных интервалов эа сутки, кратковременно – предельно допустимые значения.

Коэффициенты несинусоидальности в тяговой сети 27,5 кВ подстанции «Камышта» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний электрической энергии по коэффициенту несинусоидальности

Измеряемая характеристика	Междуфазное АВ			Междуфазное ВС			Междуфазное СА			Нормативное значение
	Результат измерений	Т1	Т2	Результат измерений	Т1	Т2	Результат измерений	Т1	Т2	
$K_{U\,в.}$ %	7,76	38,04		7,75	37,35		12,46	68,61		5,00
$K_{U\,нб.}$ %	12,30		3,74	10,34		3,88	21,05		34,97	8,00

Дополнительно, с целью анализа несинусоидальности напряжения проводились замеры на подстанции «Камышта» – с 24.12.2009 г. по 25.12.2009 г. с отключенной конденсаторной батареей. Результаты замеров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний электрической энергии по коэффициенту искажения кривой напряжения с отключеной КБ

Измеряемая характеристика	Междуфазное АВ			Междуфазное ВС			Междуфазное СА			Нормативное значение
	Результат измерений	Т1	Т2	Результат измерений	Т1	Т2	Результат измерений	Т1	Т2	
$K_{U\,в.}$ %	4,09	0,36		5,63	8,24		5,71	9,05		5,00
$K_{U\,нб.}$ %	6,10		0,00	8,58		0,05	8,67		0,13	8,00

На основании данных табл. 1 можно сделать вывод о крайне неблагоприятном влиянии тяговой сети не только на ДПР и СЦБ, а также и на районую сеть.

Гармонический состав спектров напряжений по всем подстанциям соответствует каноническому при однофазной выпрямительной нагрузке и содержит практически все нечетные гармоники (n = 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 и т. д.). В соответствии с завышенными значениями коэффициентов несинусоидальности коэффициенты n-х гармо-нических составляющих междуфазных напряжений также превышают нормативные значения. Причем, верхние значения гармоник в 1,5 и более раз превышают нормально допустимые значения, а наибольшие значения гармоник – предельно допустимые значения. В ряде случаев наблюдается 4–8 – кратное увеличение гармоник высоких порядков (n = 21, 27, 31, 33, 35, 37, 39) по сравнению с нормативно и предельно допустимыми значениями. Это может свидетельствовать о возникновении резонансов в сети, обусловленных подключением к шинам подстанций емкостных элементов: конденсаторных батарей и емкостной проводимости воздушных и кабельных линий.

Результаты замеров, приведенные в табл. 2, подтверждают высказанное предположение. При отключении КБ коэффициенты несинусоидаль-ности значительно снижаются и стремятся к допустимым значениям, что свидетельствует о необходимости отстройки параметров сети от резонансов.

С целью решения поставленной задачи для анализа резонансных режимов была разработана математическая модель для расчета частотной характеристики (ЧХ) входного сопротивления сети для подстанции Камышта». Принципиальная схема и схема замещения сети приведены на рис. 1.

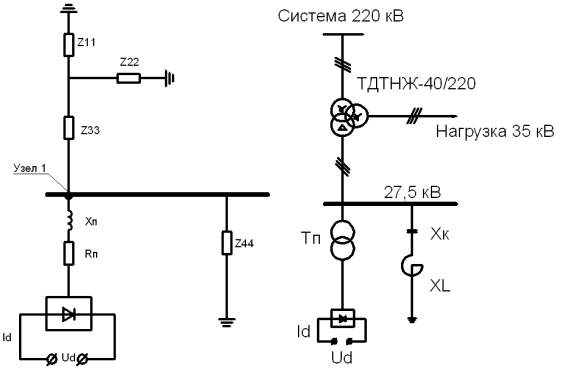


Рис. 1. Принципиальная схема и схема замещения тяговой сети

Входное сопротивление $Z_{вхv}$, определялось по отношению к шинам тяговой нагрузки 27,5 кВ. Вид частотной характеристики представлен на рис. 2.

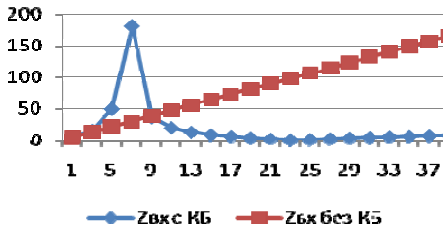


Рис. 2. Частотная характеристика с конденсаторной батареей и без нее

Расчет ЧХ подтвердил усиление $Z_{вхv}$ на частотах 3,5,7,9 , что свидетельствует о резонансных явлениях на этих частотах. Наибольшее $Z_{вхv(7)}$ превышает $Z_{вх1}$ на основной частоте в 42 раза, что соответственно приводит к увеличению напряжения на этой частоте Uυ. В свою очередь это ведет к увеличению потерь от протекания токов, и в целом к ухудшению электромагнитной обстановки в тяговых и нетяговых сетях железной дороги.

Следует также отметить, что мощность компенсирующих устройств, установленных на подстанции, является избыточной в режимах минимальной нагрузки и недостаточной в режимах максимальной нагрузки данной подстанции. Поэтому следует рассмотреть вопрос о целесообразности замены конденсаторной батареи на современный СТК.

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА СУДНА-ЭЛЕКТРОХОДА

Миханошин В.В.

Научный руководитель: Верёвкин В.Ф., д.т.н., профессор

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая 52 а
E-mail: tetrodoksin@mail.ru

При эксплуатации малотоннажных судов внутрипортового плавания, особенностью которых является работа с частыми переходными режимами, возникает проблема низкой экономичности работы энергетической установки вследствие того, что мощность дизеля зависит примерно линейно от частоты вращения, а мощность на гребном валу – пропорционально третьей степени частоты вращения. Кроме того, работа дизеля в частичных и переходных режимах приводит к уменьшению КПД теплового двигателя, его срока службы, к увеличению нагарообразования и вредных веществ в выхлопных газах.

Для того, чтобы повысить технико-экономические показатели работы дизеля необходимо обеспечить постоянство его частоты вращения и момента статической нагрузки. В сухопутных транспортных средствах динамические нагрузки на тепловой двигатель уменьшают за счет использования работающего совместно с ним электродвигателя (ЭД), получающего питание от аккумуляторной батареи (АБ). Поэтому мощность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) рассчитывается исходя не из максимально возможной, а из некоторой средней нагрузки и, как правило, в 1,5 и более раза меньше мощности ДВС такого же ТС, но с одним двигателем. Энергоустановки с двумя двигателями, один из которых является тепловым, а второй ЭД, и работающих на общую нагрузку, получили название комбинированных или гибридных.

В морском транспорте повышение эффективности работы главного дизеля при изменяющихся условиях плавания, а также при работе в долевых режимах достигается за счет использования винта регулируемого шага (ВРШ) или гребной электрической установки. В установках с ВРШ предусматриваются, как правило, два способа управления: комбинаторный режим и режим управления при постоянной (номинальной) частоте вращения. При комбинаторном режиме управления изменение ходового режима судна осуществляется одновременным изменением шага винта и частоты вращения двигателя. При управлении в режиме постоянной частоты вращения возможно применение валогенератора, но при этом нельзя обеспечить оптимизацию работы установки при работе на различных режимах. При комбинаторном управлении создается противоположная ситуация: возможна оптимизация работы установки, но валогенератор должен быть отключен.

Поддержание частоты вращения ω = const осуществляется всережимным регулятором частоты вращения (РЧВ) со встроенным ограничителем

нагрузки, который определяет рациональные скоростные режимы нагрузки дизеля в зависимости от давления наддувочного воздуха.

Кроме РЧВ и контура задания величины шага в схемах таких пропульсивных комплексах применяют регуляторы нагрузки (РН), предназначенные корректировать шаг ВРШ по предельным нагрузкам дизеля. В качестве сигнала о текущей нагрузке, кроме заданной частоты вращения ω = const, может использоваться предельное положение рейки топливных насосов высокого давления.

На рис. 1 приведена схема дизель – электрического привода гребного вала с ВРШ и синхронным генератором (СГ), позволяющая оптимизировать работу дизельной установки при постоянной частоте вращения винта.

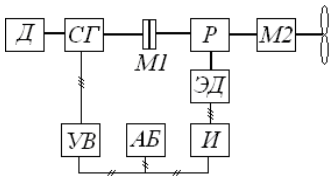


Рис. 1. Упрощенная схема дизель – электрического привода гребного вала судна: Д – дизель, УВ – управляемый выпрямитель, И – регулируемый инвертор, М1 – муфта, Р – суммирующий редуктор, М2 – механизм изменения шага (МИШ) винта

Принцип работы энергоустановки при соотношении мощности дизеля и ЭД равном 1:1 заключается в следующем. Во время кратковременных стоянок судна, т. е. когда дизель работает, а судно неподвижно, муфта М1 разобщает гребной вал и вал ЭД. Момент статической нагрузки, равный номинальному моменту дизеля, создается валогенератором, энергия которого через управляемый выпрямитель идет на заряд АБ или к другим потребителям, в случае, когда АБ заряжена. При движении судна с малой скоростью, когда мощность, потребляемая гребным винтом менее половины от номинальной, т. е. при $P_В < 0.5P_{В.Н}$, в зависимости от уровня заряда АБ возможны два варианта работы энергоустановки. В случае если АБ разряжена менее допустимого уровня, то дизель может быть остановлен, а движение судна будет производиться за счет ЭД, получающего питание от химического источника тока через инвертор. Муфта М1 при этом разобщена.

Если уровень разряда АБ достиг максимально допустимого значения, то часть мощности, развиваемой дизелем, будет потребляться гребным винтом, а оставшаяся часть – идти на заряд АБ. Муфта М1 при этом блокирует валы между собой.

При принятом соотношении мощности дизеля и гребного ЭД каждый по отдельности сможет обеспечить движение судна с максимальной скоростью равной

$$\upsilon_C = \upsilon_{CH}\sqrt[3]{0.5} = 0.794\upsilon_{CH},$$

где υ_{CH} – номинальная скорость судна.

При $P_В > 0.5P_{В.Н}$ на винт одновременно должны работать через суммирующий редуктор дизель и гребной ЭД. Работа двух двигателей на общий вал имеет некоторые особенности. Инвертор с ЭД представляют собой практически безынерционное звено по сравнению ВРШ и МИШ. КПД дизеля будет наибольшим, когда он работает номинальной и близкой к ней эксплуатационной мощностью N_e равной (0,9 ÷0,95) $N_{НОМ}$. При некотором шаге винта мощность на винте будет равна номинальной мощности дизеля. Дальнейшее увеличение шага винта возможно после того, как будет включен ЭД. Если статизм характеристик ЭД и дизеля одинаков, то момент нагрузки распределится между ними поровну и дизель будет загружен на 50 %. Если мгновенно включить на совместную работу ЭД, вследствие резкого уменьшения нагрузки РЧВ уменьшит топливоподачу. Поэтому ввод ЭД на совместную работу должен осуществляться в следующем порядке. ЭД нагружают моментом, равным порядка 20 % номинального момента дизеля, частота вращения винта при этом возрастает на величину Δω, соответственно момент сопротивления увеличивается в квадратичной зависимости на величину ΔM_C. Но так как Δω < 1% (при статизме характеристики дизеля 3 %), то ΔM_C можно пренебречь. Далее увеличивают шаг винта, чтобы загрузить дизель номинальным моментом. Вышеописанные операции повторяются до тех пор, пока нагрузка между дизелем и ЭД не разделится поровну.

Снижение частоты вращения винта производят в обратном порядке: сначала уменьшают на некоторую величину шаг винта, а затем момент ЭД.

Независимо от скоростного режима судна система управления должна обеспечивать работу главного дизеля по номинальной внешней характеристике. Уравнения, согласно которым должно осуществляться управление энергоустановкой имеют вид

$$P_Д = P_{СГ} + P_В = const;$$

$$P_В = P_Д + P_{ЭД} = \text{var};$$

$$M - M_C = J\frac{d\omega}{dt},$$

$$M = M_Д + M_{ЭД},\ M_C = M_В + M_{ВГ},$$

где $P_Д$, $P_В$, $P_{СГ}$, $P_{ЭД}$ – мощность соответственно дизеля, винта, СГ и ЭД; М, M_C – движущий момент и момент сопротивления.

На рис. 2 показана схема подключения РН и РЧВ дизеля энергоустановки с ВРШ.

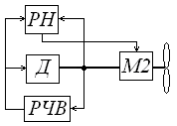


Рис. 2. Регулирование нагрузки дизеля в традиционной энергоустановке

Основное различие в работе механизмов регулирования нагрузки обычной и гибридной энергоустановки, схема которой изображена на рис. 2, заключается в следующем:

• в обычной установке с ВРШ регулятор нагрузки изменяет шаг винта (регулирование осуществляется со стороны потребителя) [1];

• в гибридной установке регулятор нагрузки может изменять шаг винта, тормозной момент СГ и момент ЭД (регулирование осуществляется как со стороны потребителя, так и стороны источника энергии). Т. о. можно поддерживать постоянным момент статической нагрузки, равным номинальному моменту дизеля и частоту его вращения при широком изменении скорости судна.

Экономичность судовой гибридной энергоустановки напрямую зависит от правильного соотношения мощности дизеля и тягового ЭД. От мощности последнего зависит емкость АБ, а значит и ее стоимость. При соотношении мощности дизеля и тягового электродвигателя $P_Д$:$P_{ЭД}$ равном 1:1 разрядная мощность АБ должна быть больше зарядной в 1.5…1.6 раза. При $P_Д$:$P_{ЭД}$ равном 0,6 : 0,4 разрядная мощность АБ примерно равна зарядной. В первом случае дизель при одиночной работе на винт сможет обеспечить его частоту вращения $\omega = 0.794\omega_Н$, во втором $\omega = 0.843\omega_Н$.

На выбор соотношения мощностей $P_Д$: $P_{ЭД}$ влияет характер движения судна, возможность или ее отсутствие заряда АБ от береговой электросети. При увеличении дальности плавания судна мощность дизеля должна выбираться большей и наоборот, чем короче дистанции, тем чаще энергоустановка будет работать с переходными режимами и, следовательно, дизель может быть выбран меньших размеров.

Таким образом, применение гибридной энергоустановки позволяет решить поставленные задачи – улучшить экологические показатели и повысить экономичность эксплуатации судна.

Список литературы

1. Попов, Г.А. Системы управления судовыми дизелями: тексты лекций. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2008.

СИСТЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Никитин М.В., Сарсикеев Е.Ж.

Научный руководитель: Лукутин Б.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30
E-mail: nik_maxim@mail.ru

На сегодняшний день для России остается актуальной проблема электроснабжения удаленных не подключенных к системе централизованного электроснабжения районов с небольшой плотностью населения. И в большинстве случаев данная проблема решается за счет построения автономных систем электроснабжения на основе дизельных электростанций, чьими бесспорными преимуществами являются малый срок строительства и введения в эксплуатацию, не большие капитальные вложения, модульность и мобильность [1]. Однако наряду с этим у таких систем есть значительные недостатки, такие как большие эксплуатационные затраты, небольшой срок работы, а также наличие топливной составляющей в себестоимости вырабатываемой электроэнергии. Дело в том, что энергоносителем для дизельных электростанций является органическое топливо, которое кроме того, что имеет собственную стоимость, так к тому же данный вид первичных источников энергии по определению является невозобновляемым, ограниченным, а это означает, что неизбежно возникнет ситуация, когда он будет исчерпан и от него придется отказаться. Учитывая эти моменты и те затраты, которые возникают при их добычи и доставке до места использования следует сделать вывод, что такой вид энергоносителя не является оптимальным для генерирования электроэнергии на долгосрочную перспективу. Другим альтернативным решением могут быть автономные системы электроснабжения на основе ветроэнергетических установок (ВЭУ) или гибридные системы, объединяющие в себе дизельные и ветровые энергетические установки [1].

Данная статья посвящена повышению технико-экономических характеристик и целесообразности практического применения ветроэнергетических установок для децентрализованных зон. Одним из актуальных направлений достижения поставленной цели наряду со снижением стоимости оборудования установки, является обеспечение максимально полезного использования энергии первичного энергоносителя – ветра. Этот вид энергоносителя наряду с такими преимуществами как неисчерпаемость, повсеместная распространенность и отсутствие какой-либо стоимости, имеет существенный изъян – непостоянство во времени, а именно его длительность, скорость и направление изменяются по случайному закону [2]. Поэтому мощность, которую способна выработать ВЭУ в различные периоды времени, можно предсказать с малой вероятностью. Учитывая к тому же переменный график работы потребителей электроэнергии, очевидно, что в составе ВЭУ необходимо наличие буферного устройства для согласования режимов выработки и потребления электроэнергии. В качестве такого буфера в настоящее время используются аккумуляторные батареи (АКБ), которые в большинстве случаев решают поставленные задачи. Однако им присущ ряд недостатков, снижающих эффективность их применения и увеличивающих эксплуатационные издержки:

1) при кратковременном падении напряжения на входе в АКБ она перестает заряжаться и не может запасать энергию в низковольтном диапазоне;

2) при кратковременном превышении напряжения на входе происходит либо перезаряд батареи, либо автоматика контроля отключает ее с заряда. При этом входящая энергия рассеивается на нагрузочных резисторах, если потребителю она не требуется;

3) для АКБ характерна большая инерционность электрохимических реакций при зарядке, в связи с этим она не может принять и хранить мощные кратковременные зарядные импульсы (например, возникающие из-за порывов ветра).

Таким образом, несмотря на широкую применяемость АКБ в ветроэнергетике, они не являются оптимальным решением. Непостоянство зарядного тока и напряжения на входе в АКБ, нерегулярные циклы заряд-разряд, вероятность перезаряда или переразряда, снижают эффективный срок службы вторичного источника тока и не обеспечивают нормальную эксплуатацию в течение многих лет. Устранить описанные выше недостатки возможно путем дополнение аккумуляторной батареи суперконденсатором, который характеризуется достаточно большой скоростью заряда и разряда. При этом разрабатываемая система аккумулирования должна оптимально совмещать в себе основные достоинства аккумуляторной батареи и суперконденсатора для максимально полной утилизации энергии ветра в каждый момент времени. Установим основные критерии, которым должна соответствовать система аккумулирования:

1) аккумулирование энергии при любом уровне напряжения как в низковольтном, так и высоковольтном диапазонах, а также при кратковременных бросках напряжения;

2) облегчение режима работа АКБ и продление ее срока службы;

3) улучшение переходных процессов в сети, недопущение провалов тока и напряжения;

4) обеспечение электроэнергией потребителей длительное время в периоды штиля и при недостаточной скорости ветра;

5) простота и относительная дешевизна системы аккумулирования;

6) увеличение полезной утилизации энергии ветра.

Указанным выше критериям в наибольшей степени отвечает схема системы аккумулирования энергии, изображенная на рис. 1. В данной схеме суперконденсатор (СК) подключен непосредственно к выпрямителю (В), а аккумуляторная батарея (АКБ) – через разделительный диод и зарядное устройство (ЗУ) необходимое для обеспечения требуемого режима заряда. Разряд АКБ происходит через диод и инвертор (И) на полезную нагрузку (Нг). Для обеспечения нормального режима работы СК, он шунтируется ветвью с балластной нагрузкой (БН) и ключем (К).

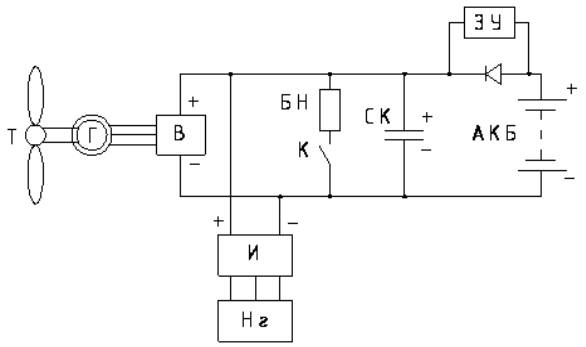


Рис. 1. Блок-схема системы аккумулирования

Для определения режимов работы суперконденсатора, аккумуляторной батареи и балластной нагрузки была составлена модель системы аккумулирования энергии в среде пакета MATLAB. При реализации процесса моделирования были выделены следующие режимы работы и особенности системы аккумулирования:

1) в случае, когда мощность вырабатываемая ВЭУ превышает мощность потребляемую нагрузкой $P_{ВЭУ} > P_{НГ}$, то излишки электрической энергии поступают на заряд аккумуляторной батареи и суперконденсатора. Причем на АКБ поступает мощность, обусловленная ее зарядным током в результате чего ток заряда АКБ и напряжение на ее зажимах не превышают допустимых значений. Нормальный режим работы АКБ обеспечивается зарядным устройством. СК при этом запасает оставшуюся невостребованной электрическую энергию, можно сказать, что в этом случае происходит неуправляемый заряд СК. При достижении уровня напряжения порогового значения превышающего допустимое происходит срабатывания ключа, и избыток электрической энергии расходуется на тепловые потери в балласте;

2) в режиме, когда $P_{ВЭУ} < P_{НГ}$ происходит разряд системы аккумулирования на полезную нагрузку. В этом случае СК, обладающей меньшей инерционностью, реагирует на пиковую нагрузку и броски тока в сети, облегчая тем самым работу АКБ и улучшая переходные процессы. Разряд АКБ на полезную нагрузку происходит при достижении величины напряжения на СК меньше значения напряжения АКБ.

Единственным недостатком приведенной схемы системы аккумулирования является зависимость нижнего порога напряжения СК от уровня напряжения АКБ, в результате чего СК не способен полностью разряжаться и часть запасенной энергии остается не востребованной. Это в свою очередь означает, что для накапливания и отдачи определенного количества энергии необходимо идти по пути увеличения емкости СК ($E = C \cdot \Delta U^2/2$), что, безусловно, приведет к увеличению затрат. Однако следует отметить, что данный изъян системы аккумулирования теряет свою значимость, в связи с наличием в таких системах инвертора предназначенного для работы в определенном небольшом интервале напряжений.

Таким образом, использование в системе аккумулирования наряду с аккумуляторной батареей суперконденсатора позволит запасать кратковременные зарядные импульсы, возникающие из-за порывов ветра. Если учесть, что мощность ВЭУ пропорциональна кубу скорости ветра, то использование энергии порывов ветра даст ощутимую прибавку мощности и энергии, генерируемой ВЭУ. Увеличение выработки энергии, при прочих равных условиях, приведет к снижению ее удельной стоимости и улучшению всех энергетических показателей установки.

Список литературы

1. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
2. Кадастр возможностей / под ред. Б.В. Лукутина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЕМКОСТНОЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ (360 КДЖ) НА МОЛЕКУЛЯРНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

Орозалиев Э.У.

Научный руководитель: Сивков А. А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: erkin-2008@mail.ru

Генераторы импульсных токов (ГИТ) остаются универсальным инструментом для проведения разного рода исследований, испытаний и экспериментов. Они могут использоваться при магнитоимпульсной обработке материалов, при настройке уставок коммутационной аппаратуры, при исследовании на электродинамическую и электротермическую устойчивость оборудовании, для точного измерение малых (10^{-6} Ом) сопротивлений, для создание квазитсационарных силовых магнитных полей и т. п. В Томском политехническом университете работы с применением ГИТ ведутся достаточно давно [1].

Продолжая работу по совершенствованию описанного в [2] Генератора импульсных токов (ГИТ) мы увидели ряд решений, позволяющих улучшить конструкцию.

Основным элементом ГИТ является конденсаторы МИГ-100 с параметрами С=2 Ф, $U_{зар}$=100 В, $R_{вн}$=0,05 Ом, W=10 кДж. Использование конденсаторов МИГ-100 позволяет минимизировать массо – габаритные характеристики ГИТ, получать сильноточные однополярные импульсы с амплитудой 10^{-3}– 10^{-2} с и более, без включения дополнительной индуктивности. Снижение рабочего напряжения установки всегда положительно сказывается в части электробезопасности тем более что в нашем случае установка используется и в учебном процессе.

Ионисторы подразделяются на сильноточные и слаботочные. Конденсаторы МИГ-100 относятся к типу сильноточных ионисторов. На рис. 1 показан принцип хранения заряда ионисторов.

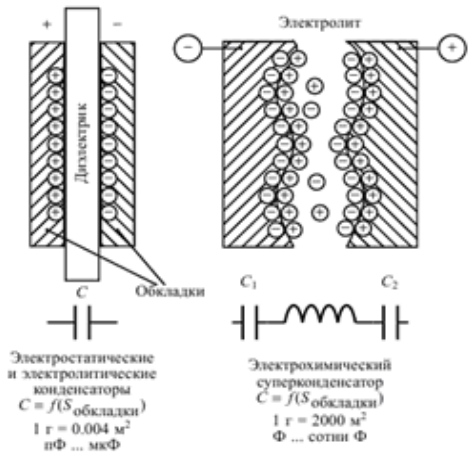


Рис. 1. принцип хранения заряда

Ионисторы имеют уникальные эксплуатационные параметры: высокая удельная мощность, большой ресурс, отсутствие обслуживания, некритичность к степени заряженности, безопасность, в том числе экологическая [3].

Разработанная нами принципиальная схема ГИТ (МИГ)-360 на энергию W=360 кДж имеет в своем составе 36 конденсаторов МИГ-100 (рис. 2).

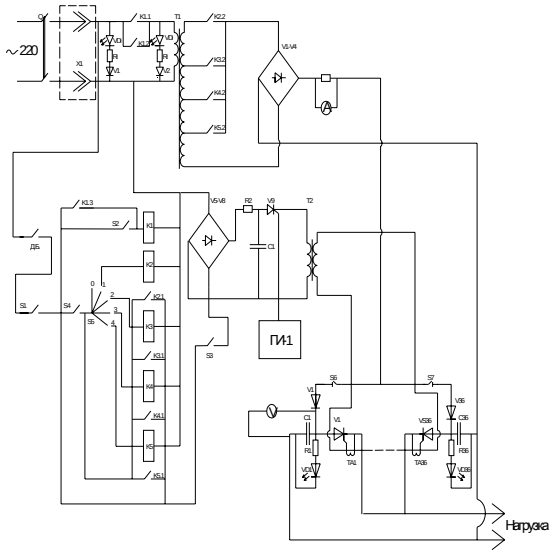


Рис. 2. электрическая схема ГИТ (МИГ)-360

Генератор ГИТ (МИГ)-360 состоит из зарядного блока, блока конденсаторов, пульта управления. Емкостной накопитель секционирован на 9 секций по четыре конденсатора в каждой, для более глубокой регулировки запасаемой энергии.

Управление установкой осуществляется с выносного пульта на котором расположены основные органы управления, и отображения процесса зарядки емкостного накопителя. Зарядный ток и напряжения контролируется измерительными приборами.

Зарядное устройство – источник постоянного регулируемого напряжения, выполнен на основе однофазного (в отличии от [2]) трансформатора мощностью 5 кВт. С целью уменьшение пускового тока, на вторичной стороне имеются отпайки (каждая из отпаек соответствует напряжениям 60, 80, 100, 120 вольт) с помощью которых осуществляется регулирование напряжения и, соответственно пусковой ток. Отпайки коммутируется магнитными пускателями марки «КМН-25511». Во

вторичную цепь включен мостовой выпрямитель. Каждый конденсатор по зарядной схеме разделен индивидуальным диодом марки КД206Б.

В режиме разряда каждый ионистор коммутируется индивидуальным тиристором марки «ТЛ2-150», в импульсном режиме данный тиристор пропускает токи до 1,5 кА. Тиристор имеет собственное внутреннее сопротивление, однако в нашем случае при больших амплитудах разряда им можно пренебречь. В тоже время внутреннее сопротивление тиристора выполняет токоограничивающую функцию что безусловно полезно для нормальной эксплуатации ионистора.

В схеме запуска выполнена гальваническая развязка с помощью импульсных трансформаторов с общей первичной обмоткой. Запускающий импульс выдает генератор собранный на основе конденсатора С37, который в свою очередь запускается от ГИ-1. Имеется возможность запуска процесса разряда в ручную, о также от внешнего устройства синхронизации

Разрядный контур каждой секции выполнен медными шинами сечением 94 мм^2, присоединенными к сборному коллектору выполненному из латунных шин круглого сечение с площадью 706 мм^2. Выбор сечения шин разрядного контура проведен с учетом импульсного характера работы установки. Общие параметры ГИТ (МИГ)-360 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ГИТ(МИГ)-360

Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров
Амплитуда напряжения	В	10–100
Емкость в разряде	Ф	8–72
Энергия импульса	кДж	40–360
Частота импульсов	имп./мин.	1–10*

*Не более 80 импульсов при не прерывной работе.

Регистрация параметров импульса тока организована на основе шунта марки «75ШСММЗ-7500-0,5». Сигнал с шунта фиксируется осциллографом «tektronix», шунт подсоединен к осциллографу с помощью коаксиального кабеля «РК50». Типичная осциллограмма тока представлена на рис. 3, получена при условиях – зарядное напряжение 80 В, подключено 4 секции общая емкость 32 Ф. Максимальное амплитудное значение тока в разряде составила 19 кА, что совпадает со значением полученным расчетным путем по методике описанной в [1].

Согласно правилам технической эксплуатации [5] а также правил техники безопасности нами разработана техническая документация необходимая для работы на данной установке. Составлена электрическая схема электроустановки, инструкция по работе с установкой, инструкция по обслуживанию установки. Определен перечень электрозащитных средств для комплектации данной установки.

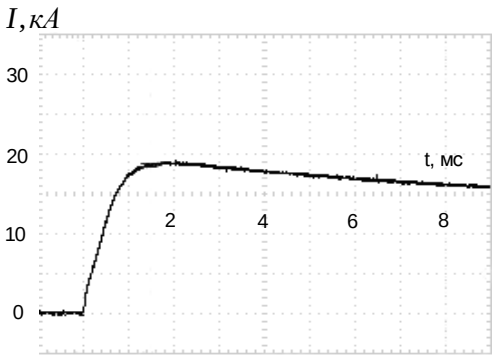


Рис. 3. типичная осциллограмма тока

Предусмотрена необходимая блокировка, препятствующая доступу персонала в рабочую зону при работе электроустановки.

Установка позволяет регистрировать падение напряжения в контактных переходах площадью 1000 мм^2 и более. В настоящее время нами ведутся исследования величин переходных сопротивлений различных контактных пар. В частности есть результаты по влиянию медного покрытия (полученного с помощью магнитоплазменного ускорителя [4]) на снижение переходных сопротивлений в контактных парах алюминий-алюминий, алюминий-медь, алюминий-сталь.

В дальнейшем предполагается наращивание мощности установки до 1000 кДж, и проведение исследований в области магнитоимпульсной обработки металлов, испытание электротехнических устройств и аппаратов на электродинамическую устойчивость.

Список литературы

1. Под редакцией Воробьева А.А., Высоковольтное испытательное оборудование и измерение // ГЭИ, Москва, 1960.
2. Орозалиев Э.У., Евдокимов А.А., Сивков А.А., Генератор импульсных токов собранный на молекулярных конденсаторах МИГ – 100 // 11 Всероссийский научно технический семинар. Россия, Томск, 21–25 апреля 2009 г.
3. Беляков А. И. Электрохимические суперконденсаторы: Текущее состояние и проблемы развития, Электрохимическая энергетика, 2006. – №3. – С. 146–149.
4. Трущелев А. С. Пак А. Я. Влияние условий нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность на переходное сопротивление контактной пары медь-алюминий. Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докладов IX всероссийской научно-технической конференции. Томск, ТПУ, 21–25 апреля 2009 г.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей // Госэнергонадзор, Минэнерго России, 2003.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Орозалиев Э.У.

Научный руководитель: Сивков А. А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: erkin-2008@mail.ru

В работе [1] показана возможность согласования контактной пары медь – алюминий и существенного уменьшения ее переходного сопротивления путем нанесения медного покрытия на алюминиевую контактную поверхность. Генератор импульсных токов описанный в [2] позволил нам провести измерения переходных сопротивлений различных контактных пар. Для проведения эксперимента были изготовлены образцы (см. рис. 1. а.) контактная сборка (см. рис. 1. б.) стягивалась болтом М16 с контролем момента затяжки. Момент затяжки изменялся в пределах 40÷100 Н·м. Тестовые образцы были обработаны на шлифовальном станке «НЕРИС 3Е88» с бумагой «725*50С1».

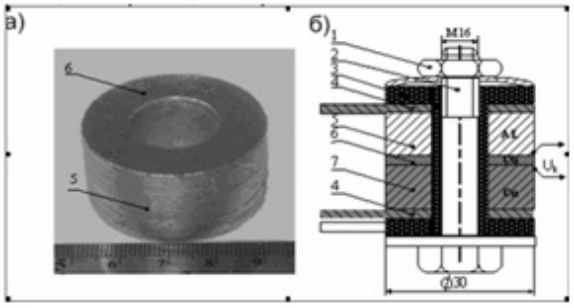


Рис. 1. а) исследуемый образец из алюминиевого сплава АД-31 5 с медным покрытием 6; б) контактная сборка: 1 – гайка М16, 2 – болт М16, 3 – стекло-пластиковый изолятор, 4 – токоподводящие шины

На рис. 2 приведена типичная осциллограмма тока

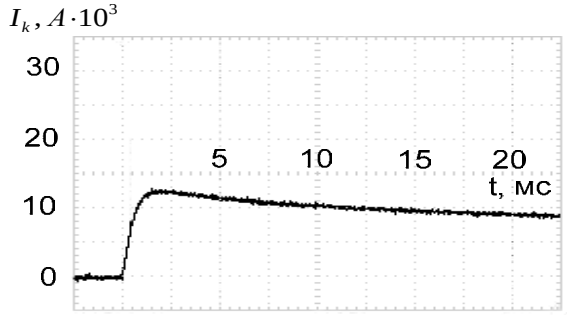


Рис. 2. Типичная осциллограмма тока

Для регистрации тока был использован шунт марки «75ШСММ3-7500-0,5», и осциллограф фирмы «Tektronix». Максимальное значение тока в эксперименте поддерживалось на уровне 10–15 кА, это позволяло получать устойчивый сигнал падения напряжения с контактной сборки. Увеличение тока сверх 15 кА в ряде случаев приводило к спаиванию контактных поверхностей.

На рис. 3 приведена типичная осциллограмма падения напряжения на контактной сборке

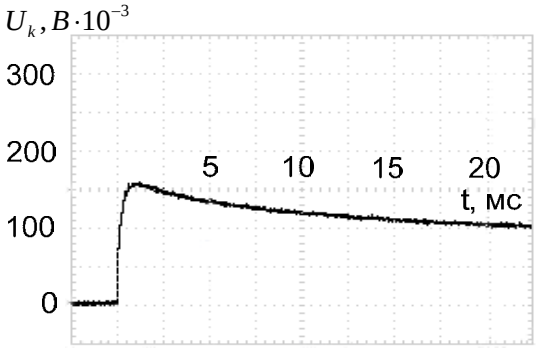


Рис. 3. типичная осциллограмма падения напряжения на контактной сборке

В результате исследований были получены значения удельного сопротивления межконтактных переходов в зависимости от момента затяжки и материала контактных пар. На рис. 4 показана экспериментальная зависимость удельного сопротивления контактных переходов $R_{уд}$ (контакт площадью 1001 мм^2) от величины момента затяжки М болтового соединения.

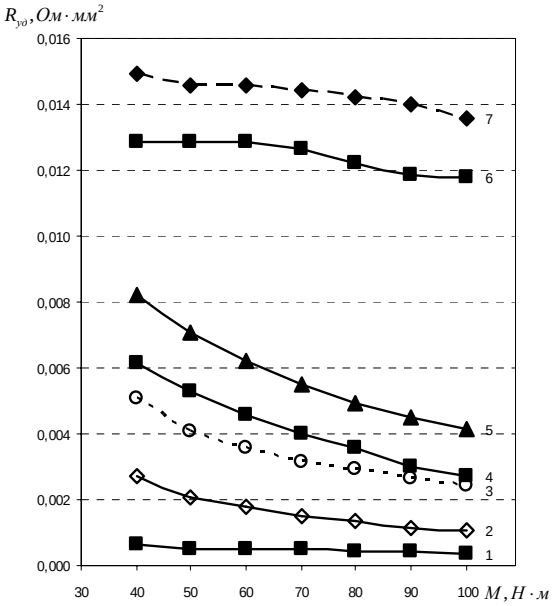


Рис. 4. зависимость $R_{уд}$ от М: 1–Cu–Cu, 2–Cu–$Al_{Cu(23)}$, 3–$Al_{Cu(23)}$–$Al_{Cu(27)}$, 4– Cu–Al, 5–Cu–$Al_{Cu(14)}$, 6–Al–Al, 7–Al–Cu_{Al}.

Кривая 1 на рис. 4 соответствует переходному сопротивлению Cu–Cu. Как и ожидалось удельное переходное сопротивление составляет около 0,0004 Ом · мм^2 м практически не зависит от момента затяжки в выбранном диапазоне. Кривая 2 (см рис. 4) соответствует переходному сопротивлению Al_{cu23}–Cu. Образец Al_{cu23} был получен при наиболее оптимальных условиях нанесения покрытия [3]. Использование покрытия позволяет снизить сопротивление контактного перехода более чем в два раза, кривая 4 соответствует контактному переходу Cu–Al. Кривая 6 (см рис. 4) соответствует переходу Al–Al.

Кривая 3 (см рис. 4) соответствует переходу $Al_{Cu(23)}$–$Al_{Cu(27)}$.

Таким образом, нанесение медного покрытия на обе алюминиевые контактные поверхности снижает сопротивление контактного перехода в четыре раза. Кривая 7 соответствует переходу Al–Cu_{Al}, Данный переход решает проблему совместимости контактных пар Cu–Al, однако удельное сопротивление остается сравнимым с переходом Al–Al.

Как и в работе [1] нами получена зависимость $R_{уд}(W/V_{ук})$, (см рис. 5), момент затяжки согласно ГОСТ 10434-82 для болта М16 определен 60 Н · м.

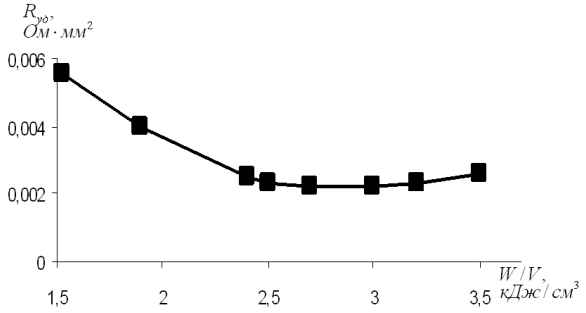


Рис. 5. зависимость $R_{уд}(W/V_{ук})$ для момента затяжки 60 Н · м

Полученные данные согласуются с данными опубликованными в [1] учитывая, что исследования проводились ранее на образцах с меньшей контактной поверхностью.

В электротехнике встречаются контактные соединении алюминий-сталь, они характеризуются относительно большими потерями. [3]. Попытки снижения переходных сопротивлений таких контактных пар известны. Считается наиболее перспективным использование межконтактных смазок на основе порошков меди. В России производятся подобные смазки, как для разборных контактных соединений, так и для подвижных контактных соединений [4], например смазки фирмы «Любриконт». Нами предпринята попытка нанесения медных покрытий на стальные контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя [5] был получен образец Fe_{Cu} и проведены исследования аналогичные исследованиям с образцами Al_{Cu}. Результаты представлены на рис. 6.

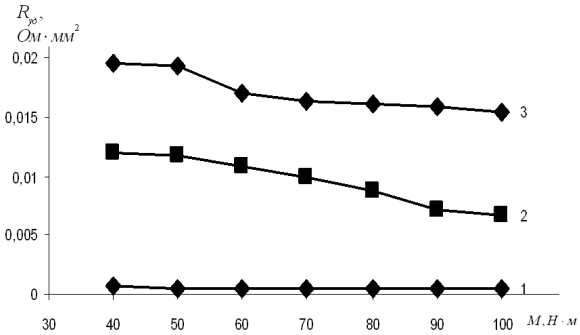


Рис. 6. зависимость $R_{уд}$ от М: 1–Cu–Cu, 2–$Al_{Cu(23)}$–Fe_{Cu}, 3–Al–Fe

Анализ представленных графиков позволяет сделать вывод: Нанесение медного покрытия на алюминиевую и стальную контактные поверхности, эффективно снижает переходное сопротивление контактной сборки.

В результате проведенных исследований нами получена методика определения удельных сопротивлений для различных контактных сборок.

Получены данные для площади контактных поверхностей 1001 мм^2.

Начаты исследования по возможности использования медных покрытий для контактных пар алюминий-сталь.

Список литературы

1. Трущелев А.С. Пак А.Я. Влияние условий нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность на переходное сопротивление контактной пары медь-алюминий. Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докладов IX всероссийской научно-технической конференции. Томск, ТПУ, 21–25 апреля 2009 г.
2. Орозалиев Э.У., Евдокимов А.А., Сивков А.А., Генератор импульсных токов собранный на молекулярных конденсаторах МИГ-100 // 11 Всеросийский научно технический семинар. Россия, Томск, 21–25 апреля 2009 г.
3. Дзекцер Н.Н., Измайлов В.В., Николаева Е.В. Определение электрического сопротивления неподвижных контактных соединений // Известия вузов. Электромеханика. – 1986. – №9. – С. 87–93.
4. Дзекцер Н.Н., Висиленев Ю.С. Многоамперные контактные соединения.// Энергоатомиздат, 1986г. стр. 128.
5. Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С., Сивков А.А. Использование коаксиального магнитоплазменного ускорителя для нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность // Приборы. – 2005. – №6. – С. 33–40.

ВЛИЯНИЕ ОШИБОЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Осинцев А.А.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: tolya-fen.nstu@mail.ru

Переходные процессы (ПП) в трансформаторах тока (ТТ) и их вторичных цепях во многом определяют устойчивость функционирования быстродействующих защит сосредоточенных объектов энергосистемы. В ПП, сопровождающихся большой апериодической составляющей, возможно «глубокое» насыщение сердечников ТТ и, как следствие, значительное искажение вторичных сигналов ТТ, что и является главной причиной неправильных действий защит.

Кроме внешних коротких замыканий, значительные токи небаланса в дифференциальной защите могут возникать при ошибочной синхронизации. Под ошибочной синхронизацией понимается включение возбужденного генератора в сеть с большим рассогласованием по углу между ЭДС генератора и напряжением системы. Такой режим возможен либо при неисправности устройств синхронизации, либо при выводе этих устройств из работы из-за неправильных действий персонала. При появлении в режиме ошибочной синхронизации значительной апериодической слагающей тока высока вероятность появления «задержки перехода» первичного тока через нуль. В этом режиме задержка перехода вызывается быстрым изменением взаимного угла δ от начального значения δ_0 при включении выключателя до δ=0.

На электрических станциях иногда происходят случаи ошибочной синхронизации. Например, на Саяно-Шушенской ГЭС по причине ошибочного вывода из действия устройства контроля синхронизма произошло включение в сеть гидрогенератора № 5 с большим рассогласованием по углу. Момент включения оказался таким, что в фазе «С» апериодическая слагающая имела значение, близкое к максимальному. Из-за насыщения ТТ произошло неселективное срабатывание дифференциальной защиты генератора, выполненной на реле ДЗТ 11/5. На рис. 1 представлена осциллограмма, записанная в этом режиме, на которой присутствуют вторичные токи только ТТ, установленных в нейтрали генератора.

Объем осциллографирования, выполнявшийся на станции, не позволил получить полную картину работы дифференциальной защиты генератора, поскольку было предусмотрено осциллографирование только токов нейтрали генератора. Однако даже при таком количестве информации видно, что в фазе «С» имело место насыщение ТТ, что, скорее всего, и вызвало существенный ток небаланса в переходном режиме и, как следствие, неселективное срабатывание защиты. Такое неселективное действие дифференциальной защиты недопустимо, поскольку в таком режиме на протяжении нескольких периодов первичный ток остается однополярным, на отключение которого выключатели переменного тока не рассчитаны. Подача команды на отключение от дифференциальной защиты может привести к разрушению выключателя.

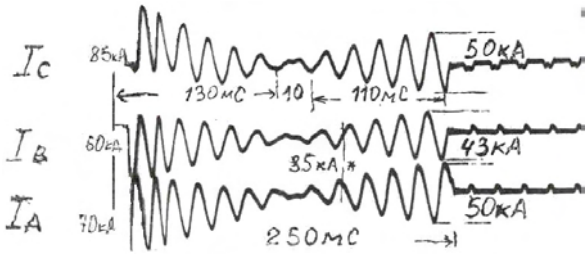


Рис. 1. Осциллограммы вторичных токов ТТ

Для исследования процессов в цепях дифференциальной защиты при ошибочной синхронизации использовался математический пакет Matlab 7.01.

При моделировании токов первичной сети были приняты следующие допущения:

- частота напряжения электрической системы в течение всего процесса остается неизменной и равна 50 Гц;
- отклонения частоты вращения генератора от номинального значения малы и не вносят существенных изменений в характер переходных процессов, протекающих в ТТ;
- для работы с ЭДС и токами без разложения на продольные и поперечные составляющие допускается, что ротор синхронного генератора симметричен, то есть параметры машины одинаковы при любом положении ротора;
- напряжение системы и ЭДС генератора равны, момент на валу турбины равен нулю.

При ошибочной синхронизации в обмотках статора протекает уравнительный ток под действием разностной ЭДС, обусловленной сдвигом между напряжением системы и ЭДС генератора. Периодическая составляющая этого тока определяется из следующего выражения:

$$i_{ур\,п}(t) = \frac{\Delta e}{x_d'' + x_c} = \frac{2E}{x_d'' + x_c} \sin\frac{\delta(t)}{2} \cdot \sin(\omega t + \alpha),$$

где t – время, за начало отсчета которого принят момент ошибочной синхронизации; α – угол на-

пряжения генератора в момент ошибочного включения в сеть; $\delta(t)$ – угол между $\bar{U}_c$ и $\bar{E}_\Gamma$, изменяющийся во времени.

При включении генератора в сеть в уравнительном токе возникает свободная апериодическая составляющая, которая в первый момент равна по величине и противоположна по знаку мгновенному значению принужденной составляющей в начальный момент времени:

$$i_{ур\ ап}(t) = -\frac{2e_\Gamma(0)}{x_d^{''} + x_c}\sin\frac{\delta_0}{2}\cdot e^{-\frac{t}{T_a}},$$

где T_a – полная постоянная времени апериодической составляющей, определяемая из следующего выражения:

$$T_a = \frac{x_d^{''} + x_c}{\omega_H \cdot (r_\Gamma + r_c)}.$$

Зависимость угла δ от времени определяем из уравнения движения ротора [1] одним из методов численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = -\left[M_{EM} + M_{AC}\right],$$

где T_j – постоянная инерции агрегата, M_{EM}, M_{AC} – электромагнитный и асинхронный моменты генератора.

$$M_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega} = \frac{1}{\omega}\cdot\frac{E^2\sin\delta}{x_d^{'} + x_c},$$

$$M_{AC} = \frac{E^2}{2}s\left[\frac{2(x_d - x_d^{'})}{(x_d + x_c)(x_d^{'} + x_c)}\cdot\frac{T_d^{'}}{1+(s\cdot T_d^{'})} + \right.$$
$$\left. + \frac{x_d^{'} - x_d^{''}}{(x_d^{'} + x_c)(x_d^{''} + x_c)}\cdot\frac{T_d^{''}}{1+(s\cdot T_d^{''})}\right],$$

Полученные путем математического моделирования осциллограммы первичных токов использованы для формирования входных сигналов математических моделей групп ТТ «звезда» [2] и «двойная звезда» [3].

На рис. 2 и 3 приведены осциллограммы первичных (пунктирные линии) и вторичных токов ТТ фазы «С» со стороны нейтрали («двойная звезда») и со стороны линейных выводов («звезда») генератора ТВВ-320-2 с начальным рассогласованием по углу 120º (начальное скольжение равно 0,5 Гц).

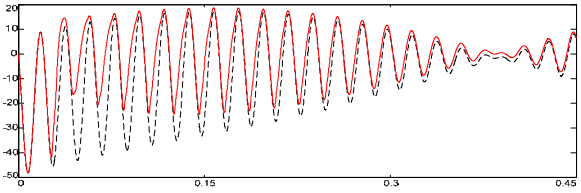


Рис. 2. осциллограммы токов фазы «С» со стороны нейтрали

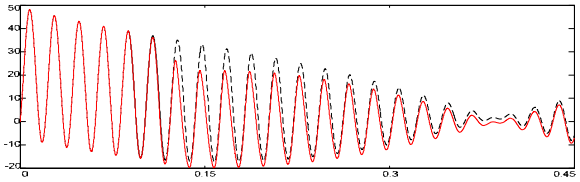


Рис. 3. осциллограммы токов фазы «С» со стороны линейных выводов

Из осциллограмм видно, что апериодическая составляющая первичного тока вызвала насыщение ТТ, установленных со стороны нейтрали, раньше, чем ТТ, установленных со стороны линейных выводов. Это привело к появлению значительного тока небаланса в дифференциальной цепи.

Для проверки функционирования дифференциальной защиты, выполненной на реле ДЗТ-11/5, в таком режиме использован испытательный комплекс РЕТОМ-51, с помощью которого были воспроизведены осциллограммы, полученные при моделировании режима ошибочной синхронизации. На рис. 4 приведены осциллограммы дифференциального тока и выходного сигнала реле ДЗТ-11/5. Как видно из рис. 4, защита сработала через 150 мс после несинхронного подключения генератора к системе.

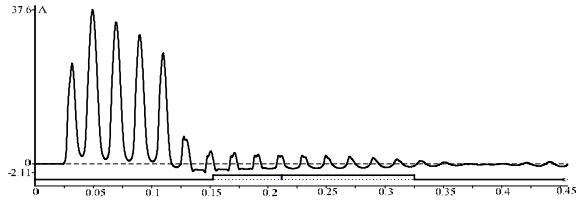


Рис. 4. осциллограммы токов дифференциального тока и выходного сигнала реле

Выводы

1. Дифференциальная защита, выполненная на реле ДЗТ-11/5, недостаточно устойчива к переходным токам небаланса, имеющим разнополярный характер.

2. Для повышения устойчивости функционирования дифференциальных защит необходимо использовать принципы, учитывающие особенности функционирования трансформаторов тока в группах.

Список литературы

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.
2. Глазырин В.Е. Торопов Г.Э. Моделирование переходных процессов в группах трансформаторов тока./ Сб. научн. тр. НГТУ. – Новосибирск, 2000. – № 3 (20). – С. 75–82.
3. Глазырин В.Е. Осинцев А.А. Модель группы трансформаторов тока «двойная звезда» / материалы всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. Ч. 3. – С. 144–145.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Панюкова С.А.

Научный руководитель: Яговкин Г.Н., д.т.н., профессор

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус
E-mail: bjd@list.ru

Создание условий эффективной с технической и экономической точек зрения эксплуатации производится в соответствии с регламентированной совокупностью правил и требований, устанавливающих выбор периодичности, состава и объема профилактических мероприятий.

Общепринятым для этой совокупности является термин «стратегия технического обслуживания» (СТО). Ее выбор представляется сложной научно-технической задачей, решение которой зависит от большого количества факторов: ремонтопригодности, контролепригодности, глубины и достоверности диагностирования, уровня ответственности на объекте и др. Наиболее перспективным направлением является использование СТО по техническому состоянию. Основой для реализации такой стратегии являются методы и средства его оценки, которые определяют работоспособность оборудования и необходимость в соответствующем управляющем воздействии. Такая стратегия эффективна при эксплуатации сложных электроустановок, ремонт которых связан с большими затратами, позволяет более полно использовать технический ресурс и обеспечить надежную работу при минимальных затратах.

Надежность работы оператора можно выразить вероятностью появления ошибок в последующих событиях или испытаниях. Метод, с помощью которого выполняется эта оценка, аналогичен методу оценки надежности аппаратуры. Вероятностная оценка качества работы оператора определяется отношением r/n где r – число успешно выполненных заданий, n – общее число испытаний. Однако это отношение представляет собой лишь оценку, основанную на имеющихся конкретных данных, и не может рассматриваться как фактическая вероятность $P_т$. Чтобы получить доверительный интервал для $P_т$ нужно воспользоваться уравнением (1).

$$\sum_{i=N_{j-n_j}}^{N_j} C_{N_j}^{i} P^{i} (1-P)^{N_{j-1}} = 1-\alpha , \qquad (1)$$

где α – достоверность того, что истинная вероятность P_i лежит в интервале от P до 1; P – нижняя граница вероятности безошибочной работы.

Разработана математическая модель для количественного определения ошибок, весьма близкая к модели, используемой при анализе надежности. Она вписывается вероятностью появления отказа в результате совершения ошибки i:

$$Q_i = 1 - (1 - P_i F_i)^{n}_i,$$

где P_i – вероятность того, что операция будет выполнена таким образом, что будет совершена ошибка i; F_i – вероятность того, что при совершении ошибки i произойдет отказ; n_i – число аналогичных операций, при которых может быть совершена ошибка i.

Если появление отказа обусловливается сочетанием двух ошибок, то

$$P_i = P_1 P_2 ,$$

где P_1 и P_2 – соответствующие вероятности совершения этих ошибок.

Общая вероятность появления отказа определяется выражением

$$Q_т = 1 - \prod_{k=1}^{n} (1 - Q_k),$$

где Q_K – вероятность того, что в результате совершенных человеком одной или большего числа ошибок, относящихся по крайней мере к одному из n классов ошибок, возникнут условия появления отказа.

Использование СТО по техническому состоянию (когда отказы происходят из-за амортизации узлов и блоков) целесообразно производить, выбирая управляющее воздействие на основе анализа риска.

Процесс управления риском при эксплуатации электроэнергетических систем охватывает различные аспекты, от идентификации риска и его анализа до оценки допустимости и определения возможностей снижения посредством выбора, реализации и контроля управляющих действий.

Факторами, определяющими риск являются:

- контроль и оценка данных эксплуатации для сопоставления фактических показателей с соответствующими требованиями;
- корректировка информации об основных источниках риска;
- анализ данных по значимости риска для принятия оперативных решений;
- определение влияния на риск изменений в структуре производства, технологических процессах и элементах системы;
- подготовка персонала.

Ситуация риска характеризуется тремя необходимыми условиями:

- наличие неопределенности;
- необходимость выбора альтернативы (при этом следует иметь в виду, что отказ от выбора также является разновидностью выбора);

• возможность оценить вероятность осуществления выбираемых альтернатив.

В этих условиях первостепенную важность приобретает задача выбора наилучшей стратегии действий для минимизации риска. Анализ ее результатов основывается:

• на выбранных нежелательных событиях;

• описании любых последствий, являющихся результатом нежелательных событий;

• учете существующих мер, направленных на смягчение последствий, наряду со всеми соответствующими условиями, оказывающими влияние на последствия;

• формировании критериев, используемых для полной идентификации последствий;

• учете как немедленных последствий, так и тех, которые могут проявиться по прошествии определенного периода времени;

• учете вторичных последствий, распространяющихся на смежное оборудование и системы.

На рис. 1 приведен пример применения различных стратегий (управляющих воздействий) [1, 2].

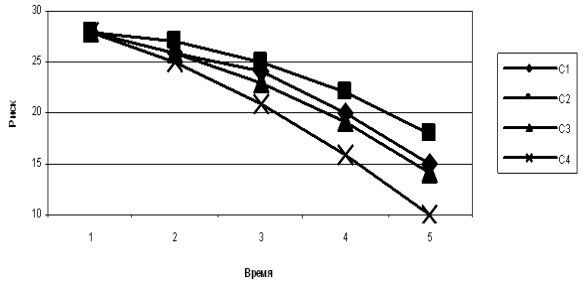


Рис. 1. Пример применения различных стратегий в условиях риска

Ситуация принятия решения – это матрица, элементами f_{JK} которой являются количественные оценки принятого решения $\varphi_K \in \hat{\Omega}$ при условии, что среда находится в состоянии $\theta_J \in \Theta$ [3,4]:

$$F = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} \varphi_1 & \cdots & \varphi_K & \cdots & \varphi_M \end{array} \\ \left| \begin{array}{ccccc|c} f_{11} & \cdots & f_{1K} & \cdots & f_{1M} & \theta_1 \\ & \cdots & & \cdots & & \\ f_{J1} & \cdots & f_{JK} & \cdots & f_{JM} & \theta_J \\ & \cdots & & \cdots & & \\ f_{N1} & \cdots & f_{NK} & \cdots & f_{NM} & \theta_N \end{array} \right| \end{array} \quad (2)$$

где $\{\varphi_1,\ldots,\varphi_M\}$ – множество решений (определяющих выбор стратегии действий $\{C_1,\ldots,C_M\}$; $\{\theta_1,\ldots\ldots,\theta_N\}$ – множество состояний среды, которая может находиться в одном из состояний $\theta_J \in \Theta$; f_{JK} – количественные оценки принятого решения (риск) в случае выбора стратегии K при условии того, что внешняя среда находится в состоянии J.

Применение вероятностно-статистического критерия Байеса для решения матрицы (2) позволяет определить наилучшие стратегии с точки зрения минимизации риска.

Если возможно оценить распределение вероятностей $P_J = P\{\theta_J\}$ на массиве состояний $\theta_J \in \Theta$, заданными множествами $\Phi = \{\varphi_1,\ldots\ldots,\varphi_M\}$ и $\Theta = \{\theta_1,\ldots\ldots,\theta_N\}$, применяется критерий Байеса, суть которого сводится к минимизации математического ожидания оценочного функционала и связана с преобразованием формул априорных вероятностей в апостериорные вероятности. По этому критерию оптимальным решением $\varphi_{K0} \in \Phi$ считается такое, для которого минимум математического ожидания риска достигает наименьшего из возможных значений

$$B(P,\varphi_{K0}) = \min_{\varphi_K \in \Phi} B(P,\varphi_K) = \min_{\varphi_K \in \Phi}\left[\sum_{J=1}^{N} P_J f_{JK}\right] = \sum P_J f_{JK0},$$

$$B(P,\varphi_K) = \sum_{J=1}^{N} P_J f_{JK}.$$

Эта величина B является байесовым значением оценочного функционала для решения $\varphi_K \in \Phi$.

Данная методика позволяет дать оценку надежности электроэнергетических систем и тем самым создать более благоприятные условия для их эксплуатации.

Список литературы

1. Боумен К. Основы стратегического менеджмента. – М.: «Юнити», 1997.
2. Ляско В.И. Стратегическое планирование развития предприятия. – М.: Изд-во «Экзамен», 2005.
3. Костечко Н.Н., Костюков А.А., Куликов Л.С., Яговкин Н.Г. Методологические аспекты построения автоматизированных систем обработки информации. – Самара: Российская академия наук, Самарский научный центр, 2004.
4. Батищев В.И., Яговкин Н.Г. Методология поддержки принятия решений при управлении интегративными крупномасштабными производственными системами. – Самара: Российская академия наук, Самарский научный центр, 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИТ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ БЛОКОВ

Первиков А.В., Жгун Д.В., Кобылинец Е.В.

Научный руководитель: Жгун Д.В. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pervikov@sibmail.com

Разрушение горных пород является одной из основных статей затрат при добыче полезных ископаемых, и составляет порядка 35% от капитальных вложений [1].

При разрушении применяются различные виды энергии и соответствующие породоразрушающие инструменты и машины. Однако, механизм разрушения во всем техническом многообразии един – образование и рост трещин.

В этой связи, актуальным является выбор способа и режимов подвода энергии к разрушаемому материалу и ее преобразования в работу разрушения, которые позволят осуществить разрушение с минимальными энергозатратами.

Как показывает теория прочности Мора, разрушение горных пород происходит за счет среза касательными напряжениями или за счет отрыва – растягивающими. Как именно произойдет разрушение, зависит от свойств горных пород и вида напряженного состояния. Последнее определяется физическим содержанием конкретного процесса разрушения. Для определения характера разрушения Н.Н. Давиденковым и Я.Б. Фридманом предложена диаграмма механического состояния материалов, которую для горных пород можно представить в следующем виде (рис. 1) [2].

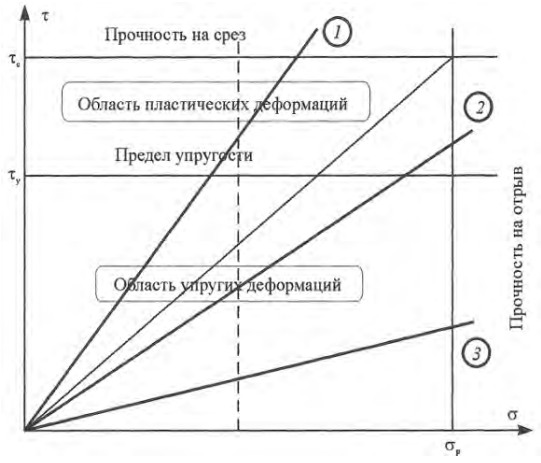


Рис. 1. Диаграмма механического состояния горных пород

В случае объемного напряженного состояния ($\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$) наибольшее растягивающее напряжение определится по формуле

$$\sigma_{max} = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3), \quad (1)$$

а наибольшее касательное

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \quad (2)$$

В качестве единой характеристики напряженного состояния породы принимается отношение

$$m = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2[\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)]}. \quad (3)$$

Геометрически это отношение соответствует тангенсу угла наклона прямой, выходящей из начала координат. Диагональ диаграммы состояния соответствует $m = \tau_c/\sigma_p$, т. е. отношению прочности на срез и разрыв. Тогда в напряженном состоянии, при котором $\tau_{max}/\sigma_{max} > \tau_c/\sigma_p$, разрушение происходит за счет среза. В последнем случае (линия 1), разрушение всегда связано с необратимыми пластическими деформациями, на которые затрачивается дополнительная энергия. При отрыве разрушение может происходить как в зоне пластических деформаций (линия 2), так и в зоне упругих (линия 3).

Таким образом, для уменьшения энергоемкости разрушения следует так проектировать процесс, чтобы достичь максимального снижения m. В пределе (m=0) линия состояния совпадает с осью абсцисс, что соответствует всестороннему равномерному растяжению ($\sigma_1 = \sigma_3$). В случае одноосного растяжения ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$), m=0,5.

В работе [3] показано, что использование энергии разрядного канала является достаточно эффективным способом формирования в материале полей напряжений приводящих к его разрушению с наименьшими энергозатратами.

Цель работы заключалась в выборе режимов работы генератора импульсных токов, обеспечивающих эффективное разрушение бетона. Эксперименты проводились на стенде, созданном на базе генератора импульсных токов ГИТ-25 (рис. 2). Характеристики ГИТ: зарядное напряжение – до 25 кВ, запасаемая емкость – до 96 мкФ, индуктивность контура – до 1,1 мкГн, импеданс генератора – до 0,2 Ом.

Эксперименты проводились на образцах бетона марки В22,5 размером 700х400х350 мм. В разрушаемом образце забуривался шпур диаметром 26 мм и глубиной 150–170 мм, в который помещался электровзрывной патрон (ЭВП). Для удаления воздушной прослойки между ЭВП и бетоном в шпур заливалась вода. Расстояние до открытой поверхности определялось местоположением шпура и в большинстве опытов не превышало 150 мм; режим ввода энергии регулировался длиной взрываемого проводника 20–50 мм (изме-

нение сопротивления разрядного канала), емкостью генератора 24–96 мкФ (изменение запасаемой энергии и времени ее выделения), зарядным напряжением 10–20 кВ (изменение запасаемой энергии). Всего было проведено 25 экспериментов.



Рис. 2 Внешний вид испытательного стенда

Энергия ударной волны, генерируемой расширяющимся каналом должна с минимальными потерями передаваться в разрушаемый материал. Эффективность передачи обусловлена процессом отражения волны на границе раздела сред с разными показателями акустической жесткости Z. Расчеты показали, что эффективную передачу энергии волны удастся осуществить при использовании в качестве передающей среды полиэтилена. Конструкция ЭВП описана в работе [4].

В экспериментах изучалась эффективность разрушения блоков бетона в зависимости от расстояния до открытой поверхности и режимов ввода энергии. При этом особое внимание уделялось снижению напряжения ГИТ, т. к. использование напряжения уровня 6–10 кВ снижает стоимость и улучшает эксплуатационные характеристики установки.

На рис. 3,4 приведен внешний вид образцов после экспериментов при различных параметрах ГИТ-25.



Рис. 3 Образец после испытаний ($U_з$ = 20 кВ, C= 24 мкФ, $d_{пр}$ = 0,37 мм, $l_{пр}$ = 20 мм)



Рис. 4 Образец после испытаний ($U_з$ = 10 кВ, C = 96 мкФ, $d_{пр}$ = 0,37 мм, $l_{пр}$ = 20 мм)

Эксперименты показали, что видно, что при одинаковой запасаемой энергии генератора, разрушение наблюдается при более длительных режимах энерговыделения (рис. 3,4).

Для подтверждения полученных результатов были проведены эксперименты на установке ГИТ-10. Внешний вид образца после испытаний показан на рис. 5.



Рис. 5 Образец после испытаний ($U_з$ = 9 кВ, C = 1600 мкФ, $d_{пр}$ = 0,37 мм, $l_{пр}$ = 50 мм)

К сожалению, в связи с единичными экспериментами невозможно сделать достоверные выводы о влиянии режима ввода энергии, но можно предположить, что существенную роль при разрушении материала электровзрывом оказывает время выделения энергии, что главным образом определяется емкостью генератора.

Список литературы

1. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. – М.: Изд. Московского государственного горного университета, 2001. – 453 с.
2. Латышев О.Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.
3. Буркин В.В., Кузнецова Н.С., Лопатин В.В. Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках // ЖТФ, 2009 г. – Т. 79. – Вып. 5. – С. 42–48.
4. Кобылинец Е.В., Лазарев С.В., Первиков А.В., Перков В.В. Применение электроразрядных технологий для расширения тоннелей // Изв. вузов. Физика. – 2009. – № 8/2. – С. 280–284.

МОНИТОРИНГ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

Прохоров А.В.

Научный руководитель: Гольдштейн Е. И. , к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pavk114@gmail.com

Современное направление развития методов диагностирования силовых трансформаторов (СТ) определяется переходом к стратегии обслуживания оборудования по его фактическому техническому состоянию. Этому обстоятельству способствовали также значительные достижения в области измерительной техники и средств обработки информации, позволившие расширить применение методов, ранее считавшихся чрезмерно трудоемкими, и определить новые перспективы их развития.

Примером тому может служить развитие методов тестового контроля механического состояния обмоток СТ – метода низковольтных импульсов (НВИ) [1] и схожего с ним, развиваемого за рубежом, метода анализа частотных характеристик (FRA) [2].

Указанные методы обладают гораздо большей чувствительностью к различного рода деформациям обмоток СТ и, поэтому призваны либо заменить традиционный метод контроля сопротивления короткого замыкания обмоток (Z_k), либо использоваться в комбинации с ним, что согласно [1] значительно повышает эффективность диагностирования.

Однако, по-прежнему не решенной остается задача адаптации методов НВИ и FRA для использования в нагрузочных режимах СТ.

Поэтому возможность адаптации метода контроля Z_k для применения в нагрузочных режимах позволяет говорить не только об использовании его в качестве самостоятельного метода контроля механического состояния обмоток СТ под нагрузкой, но и о возможности обеспечения дополнительного преимущества от его совместного использования с методом НВИ или FRA – получения оперативной информации о необходимости отключения СТ и проведения обследований методом НВИ или FRA. Используемый в настоящее время критерий проведения тестовых испытаний – «воздействие на обмотки тока КЗ, превышающего 0,7 от допустимого значения», является недостаточным, так как существует вероятность повреждения при меньших токах КЗ и, напротив, возможно сохранение механической устойчивости обмоток при указанных значениях тока КЗ.

Основу большинства известных альтернативных методов контроля Z_k под нагрузкой составляет следующая последовательность: измерение токов и напряжений на выводах трансформатора в нагрузочных режимах; приведение измеренных токов и напряжений к одной стороне, например первичной, и расчет величины Z_k по формуле:

$$Z_k = \frac{U_1 - U'_2}{I'_2} \quad (1)$$

Выражение (1) может видоизменяться для различных методов, в зависимости от используемой расчетной модели СТ и определяемой величины – Z_k, X_k или L_k [3].

Однако данные методы обладают рядом общих недостатков, затрудняющих их эффективное применение для контроля нагруженного трансформатора:

• отсутствие учета зависимости контролируемого параметра от параметров и характера нагрузочных режимов (за исключением процедур приведения к номинальной частоте и номинальному напряжению питающей сети);

• необходимость использования приведенных величин предполагает наличие информации о коэффициентах трансформации (K_{mp}) для каждой фазы обмоток. Однако точность определения K_{mp} из опыта холостого хода не всегда позволяет эффективно использовать их для приведения рабочих токов и напряжений; в большинстве случаев определение разности близких (приведенных) величин приводит к некорректным результатам. Кроме того, к аналогичным погрешностям может приводить изменение K_{mp} вследствие повреждений СТ в процессе эксплуатации;

• не рассматривается возможность и особенности использования большинства методов для многообмоточных трансформаторов.

Для того чтобы избежать указанных недостатков, автором был разработан метод мониторинга механического состояния обмоток СТ в нагрузочных режимах, основывающийся на контроле угла сдвига фаз между напряжениями первичной и вторичной обмоток $\varphi_{u1,u2}$ СТ.

Результаты исследований [4] показали, что разработанный метод не обладает указанными выше недостатками, и в то же время позволяет достаточно просто интерпретировать результаты мониторинга, так как контролируемый параметр непосредственно связан с величиной *Zk*.

$$\varphi_{u1,u2} \sim \sin\left(\varphi_н - arctg\left(\frac{X_k}{R_k}\right)\right)\cdot k_з \times \times \sqrt{\left(R_k\cdot\cos(\varphi_н) - X_k\cdot\sin(\varphi_н)\right)^2 + \ldots \ldots + \left(R_k\cdot\sin(\varphi_н) + X_k\cdot\cos(\varphi_н)\right)^2}. \quad (2)$$

Как видно на примере двухобмоточного трансформатора (2) угол $\varphi_{u1,u2}$ пропорционален отношению X_k/R_k, что позволяет установить границы допустимых отклонений $\varphi_{u1,u2}$ на основании установленных в [5] допустимых отклонений Z_k, скорректированных с помощью коэффициентов влияния ($K_в$) величины X_k на величину контролируемого параметра. Значения $K_в$ могут быть определены на математической модели, либо путем физического эксперимента и рассчитаны по формуле:

$$K_в = \frac{\varphi_{u1,u2} - \varphi'_{u1,u2}}{\varphi_{u1,u2}},$$

где $\varphi_{u1,u2}$ и $\varphi'_{u1,u2}$ – угол между напряжениями обмоток соответственно до и после изменения сопротивлений X_k (R_k).

Однако в отличие от методов контроля Z_k, где величиной активной составляющей пренебрегают, при контроле $\varphi_{u1,u2}$ необходимо учитывать, что в нагрузочных режимах СТ величины активных сопротивлений зависят от температур обмоток, изменяющихся вместе с величиной тока. И если изменение тока при переходе от одного нагрузочного режима к другому можно считать мгновенным, то изменение температуры обмоток зависит от продолжительности переходного теплового процесса и соответственно влияет на результаты мониторинга.

Принимая во внимание известную зависимость между активным сопротивлением и температурой обмотки:

$$R_t = R_0 \cdot \left(1 + \alpha_0 \cdot \left(t - t_0\right)\right),$$

где $\alpha_0 \approx 0{,}00411$ – температурный коэффициент меди для интервала температур от 0°С до 150°С; R_0 – сопротивление при начальной температуре обмотки t_0; R_t – сопротивление при температуре обмотки t; и то, что согласно ГОСТ-14209-97 средняя номинальная температура обмотки принимается равной 85°С, а предельно допустимая средняя температура обмоток в режимах систематических и продолжительных аварийных перегрузок составляет 110–140°С, можно подсчитать, что изменение активного сопротивления может составлять порядка $(1{,}1 \div 1{,}23) \cdot R_0$. В то время как достижение обмотками установившихся температур в среднем составляет 20–30 мин.

В качестве примера на рис. 1 представлена зависимость $K\varphi_{u1,u2} = f(\cos(\varphi_н))$, полученная на модели двухобмоточного трансформатора ТДЦ-80000/220 в MatLab Simulink. Кривая 1 соответствует изменению сопротивления X_k обмоток на 1%, а кривая 2 – получена при дополнительном изменении R_k на 10%.

Из рис. 1 видно, что изменение R_k значительно снижает возможности метода при преобладании индуктивной составляющей нагрузки. Для трансформаторов малой мощности с $X_k/R_k < 5$ указанный негативный эффект присутствует на всем диапазоне изменения $cos(\varphi_н)$.

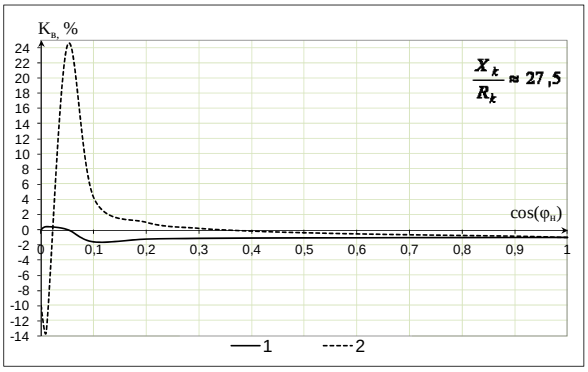


Рис. 1

Более того, для трансформаторов малой мощности, аналогичная погрешность может приводить к ложным результатам и при использовании методов контроля Z_k, которые, в отличие от предлагаемого метода, не позволяют определить изменение какой именно составляющей привело к изменению Z_k и, соответственно, избежать некорректных результатов мониторинга.

В отношении метода контроля $\varphi_{u1,u2}$, такого рода погрешности могут быть устранены наиболее предпочтительным способом: либо выделением участка тренда отклонений $\varphi_{u1,u2}$, вызванных изменением R_k и дальнейшей отбраковкой данных, связанных с тепловым переходным процессом, что снижает периодичность мониторинга; либо введением соответствующих поправок по коэффициенту влияния R_k, что усложняет метод и требует проведения дополнительных контрольных замеров R_k перед началом мониторинга.

Список литературы

1. Диагностика обмоток силовых трансформаторов и реакторов методом низковольтных импульсов / А.А. Дробышевский, Е.И. Левицкая, Д.В. Андреев, В.Р. Бельцер // Электротехника. – 1997. – № 3. – С. 48–51.
2. Frequency response analysis in diagnosing transformer winding movements – fundamental understandings / D.M. Sofian, Z.D. Wang, S.B. Jayasinghe // Proceedings of 39th International Universities Power Engineering Conference (UPEC 2004) – Bristol, UK, September 6–8, 2004. –Vol. 1. – P. 138–142.
3. Хоанг Ван Нью, Малиновский В.Н. Методы и средства контроля и диагностики состояния обмоток мощных силовых трансформаторов // Электротехника. – 2009. – №10. – С. 36–41.
4. Прохоров А.В., Гольдштейн Е.И. Метод оперативного контроля состояния трансформаторного оборудования // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – № 4. – С. 31–34.
5. Об измерениях сопротивления КЗ трансформаторов // Эксплуатационный циркуляр Ц-02-88(Э). Минэнерго.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Прутик А.Ф.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н.,доцент

Томский политехнический университет, Электротехнический институт,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lex@tpu.ru

В работе ставятся и разрабатываются вопросы определения эффективности релейной защиты (РЗ). Оценено состояние этих вопросов и предложен вероятностно-статистический метод настройки и оценки технической эффективности РЗ. Техническая [1] как и любая другая эффективность выражается в виде отношения достигнутого (чистого) эффекта к его потенциально-возможному значению. Значения же указанных эффектов выражаются в натуральных единицах.

Существующий в настоящее время экспертно-руководящий метод (ЭРМ) позволяет на основе творческого анализа топологии, допустимых коммутаций, рабочих и аварийных режимов электрической сети, требований к их сохранению, демпфированию или устранению, принципов действия разрабатываемой и выпускаемой промышленностью аппаратуры в применении к интересующему элементу (линии, трансформатору, автотрансформатору, реактору, генератору, энергоблоку, сборных шин и др.) сети позволяет ее настраивать на выполнение функций РЗ этого элемента. Эти функции состоят в селективном, надежном и быстром отключении от сети элемента, на котором произошло короткое замыкание, с требуемым минимальным коэффициентом чувствительности.

Актуальность разработанного автором математического аппарата расчета эффективности РЗ напрямую следует из проблем функциональной настройки функционирования РЗ. Среди них: сложность определения максимальных и минимальных величин токов короткого замыкания (КЗ), необходимых для выбора уставок РЗ; отсутствие объективного способа количественной оценки принятой настройки РЗ. Первая указанная проблема принципиально не может быть объективно решена в рамках существующего детерминированного подхода. Вторая проблема пересекается с первой и решена частично путем оценки чувствительности РЗ к аварийным ситуациям в самом тяжелом для работы РЗ случае.

Способ расчета эффективности функционирования релейной защиты как отношение количества правильных срабатываний действий к сумме правильных и неправильных на основе ежегодной статистики используется на протяжении десятков лет, например, [2]. Однако значения данного критерия недостаточно представительны, оперативны и информативны. Недостатки обусловлены в связи с использованием редкостной ретроспективной статистики работы релейной защиты. Распределение такой статистики на различные факторы (причины) улучшает информативность, однако усугубляет остальные названные недостатки, т. к. статистика становится еще беднее. Статистика релейной защиты зависит от характеристик и параметров электрических сетей, а ретроспективная статистика отражает функционирование сетей и аппаратуры РЗ в прошлом, когда топология, характеристики и параметры сетей и аппаратуры были иными. Для решения любых функциональных задач, в том числе и оценки эффекта и эффективности РЗ такая статистика вчерашнего дня малопригодна, особенно в настоящее время бурного развития техники, технологии, эксплуатационных систем, в том числе энергосистем и релейной защиты.

В современных работах [например, 3] для оценки РЗ введен «интегральный показатель эффективности», учитывающий характеристики устройств РЗ, стоимостные показатели отказов, надежность аппаратуры. Но данный показателей по существу также основан на ретроспективной статистике и, следовательно, включает в себя недостатки, указанные выше.

Предлагается иной подход. Техническую эффективность можно качественно представить следующим отношением:

$$ТЭ = \frac{Потенциальный\ эффект(ПЭ) - Потери}{ПЭ} \quad (1)$$

Потенциальный эффект от применения релейной защиты – способность обнаруживать и ликвидировать короткие замыкания. Потери – отказы, ложные и излишние действия. Оригинальной частью критерия является технический эффект, представляющий собой числитель (1).

Выразив технический эффект E через вероятности (обозначение p) событий или состояний, приведенные к одним и тем же условиям, получим:

$$E = p(\text{А}) - p(\text{О}) - p(\text{Л}_\text{э}) - p(\text{Л}_\text{ар}) - p(\text{Л}_\text{нпф}) - p(\text{Л}_\text{нам}) - p(\text{И})\text{'}$$

где А – состояние КЗ на пространстве защищаемого объекта (ЗО), О, Л, И – события отказов, ложных, излишних действий канала РЗ защищаемого объекта соответственно, нижние индексы для различения событий ложных действий: э – в эксплуа-

тационных условиях, ар – в асинхронных режимах, нпф – в неполнофазных режимах, нам – при бросках тока намагничивания.

Обеспечение интересующих вероятностей событий (состояний), приведенных к одним и тем же условиям, может быть осуществлено только на поле наиболее полного или обобщенного комплекса условий, в составе которых могут быть рассмотрены все интересующие события. Вероятности событий на этом поле целесообразно назвать безусловными, а вероятности этих же событий, но на поле других событий, с которыми они совмещаются, являются условными. Таким образом вычисляются все вероятности в (1). Данное также обусловило необходимость выделения ложных действий РЗ для разных режимов. Например, в эксплуатационном режиме $p(\text{Л}_\text{Э}) = p(\text{Л}_\text{Э}/\text{Э})p(\text{Э})$.

Остановимся подробнее на методике вычисления условных вероятностей.

Функциональная ТЭ определяется настройкой РЗ (выставлением уставок). Данная зависимость получена через формирование полных вероятностных характеристик или ЗРВ параметров электрических режимов, на которые реагирует РЗ. Получение указанных характеристик возможно благодаря методу селекции границ исходных и выходных данных СГИД [4]. Его смысл заключается в том, что если задаться первичными данными одного порядка вероятности, то результаты математической функциональной обработки будут получены с той же вероятностью. Так, параметры режимов (потоки активных и реактивных мощностей в ветвях) являются функцией от активной и реактивной мощности в нагрузочных узлах, активной мощности и напряжения в генераторных узлах. Например, определение ТЭ токовой защиты осуществляется следующим образом:

1. Используя метод СГИД, вычисляются ЗРВ токов в ветвях в рабочих и аварийных режимах.
2. Через разработанные алгоритмы ТЭ ([5]) определяются условные вероятности отказов, излишних и ложных действий, зависящие от характеристики РЗ, топологии сети и выставленных уставок.
3. По (1) определяется величина ТЭ.

В итерационном процессе перебора уставок, реализованном в специальной компьютерной программе [6], может быть определена настройка РЗ, обеспечивающая максимальное значение технической эффективности, т. е. наиболее оптимальное выполнение требований селективности, чувствительности и надежности работы. Разработанная программа также позволяет строить графики ТЭ, позволяющие определять пространство наилучшей настройки.

Пример такого расчета приведен на рис. 1 для первой ступени токовой защиты нулевой последовательности линии Сургутская ГРЭС-2 − подстанция Ильково Российской Тюменской энергосистемы.



Рис. 1. График технической эффективности в зависимости от уставки

Из графика следует, что существует область, когда эффективность настройки РЗ близка к 100%. Далее следует резкий спад характеристики, обусловленный увеличением числа отказов при неадекватно большой принятой уставке РЗ.

В заключение следует отметить, что правильность выбора защитных функций и уставок является необходимым фактором эффективной работы любой РЗ, независимого от технического уровня развития (от используемой аппаратно-элементной базы). Поэтому работы в данном направлении всегда будут актуальными и правомерными.

Список литературы

1. Теория управления. Терминология. – Вып. 107. – М.: Наука, 1988. – С. 56.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. − М.: Энергоатомиздат, 1984. − 520 с.
3. Нудельман Г.С., Шалин А.И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. – Новости электротехники, 2008, № 3 (51).
4. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. вузов «Проблемы энергетики», 2008, № 7. – 8/1. – С. 146–157.
5. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Алгоритм оценки технической эффективности средств релейной защиты и автоматики // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Специальный выпуск №1. – 2009. – С. 192–195.
6. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов и программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество. №12. – 2009. – С. 19–26.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В КОНЦЕПЦИИ ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Прутик А.Ф.

Научный руководитель: Гусев А.С., д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, Электротехнический институт,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lex@tpu.ru

Производство, передача, распределение электрической энергии – единый непрерывный процесс в диапазоне всевозможных нормальных, анормальных, включая аварийные, режимов. В виду специфики, исключающей натурные эксперименты и из-за большой сложности – невозможности адекватного физического моделирования, для получения необходимой информации, используется математическое моделирование. Однако, при математическом моделировании при таком подходе, названном в данной статье всережимным, исключающим декомпозицию и упрощение математической модели электроэнергетической системы (ЭЭС), задача оказывается чрезвычайно сложной. При использовании адекватных моделей наиболее значимых элементов ЭЭС – генераторов, трансформаторов, линий электропередач и двигателей – совокупная модель, с учетом допустимого частичного эквивалентирования, представляет собой жесткую нелинейную систему дифференциальных уравнений чрезвычайно высокого порядка, решение которой методами численного интегрирования, оказывается невозможным.

Гарантированная достоверность может быть обеспечена при всережимном моделировании ЭЭС, которое существующими средствами численного интегрирования осуществить невозможно в виду ограничений, накладываемых численными методами интегрирования дифференциальных уравнений.

В Томском политехническом университете разработана концепция и на ее основе многопроцессорная система всережимного моделирующего комплекса в реальном времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) [1]. ВМК РВ ЭЭС представляет собой специализированную многопроцессорную программно-техническую систему реального времени гибридного типа, состоящую из адаптируемой совокупности специализированных гибридных процессоров (СГП) моделируемых элементов ЭЭС и информационно-управляющей системы.

При этом весьма актуальным является адекватное моделирование средств РЗ и противоаварийной автоматики (ПА), которое в силу ограниченных программных средств ранее решалось сценарийным логическим путем. При адекватном всережимном моделировании средств РЗА необходимо учитывать особенности режимного и временного функционирования РЗА и ПА. В ВМК РВ ЕЭС моделирование средств РЗ и ПА элементов осуществляется в микропроцессорных (МП) системах модулей СГП, обеспечивающих всережимное моделирование элементов ЕЭС.

С учетом выше изложенного, задача адекватного воспроизведения РЗ и ПА включает в себя анализ особенностей функционирования различных средств РЗ и ПА, выполненных на различной аппаратной основе, разработка алгоритмов, учитывающих эти особенности, а также, оптимальное программирование для МП-систем СГП ВМК РВ ЕЭС.

Задача программирования микроконтроллеров находится в иной плоскости, чем разработка прикладных программ для стационарных компьютеров. Здесь всегда необходимо учитывать ресурсы (наличие свободной памяти) и заданное быстродействие (расчеты и передача информации по аналогово-цифровым протоколам должны уложиться в квант дискретизации, который в ВМК равен 100 мкс). Компактности кода и его быстродействию уделяется повышенное внимание. Для обеспечения последнего, существенная часть логики работы реализуется на языке ассемблер, который предоставляет большую гибкость программирования, т. к. работает напрямую с регистрами и памятью процессора. МП обладает следующими характеристиками: ARM7, 32 разрядный RISC-процессор, работающий на частоте 80МГц, 64 кб оперативной и 256 кб постоянной памяти.

Поскольку РЗ будет работать в реальных режимах и с реальными средствами, анализ РЗ представляется следующим образом:

1. Выделение входных аналоговых, цифровых и дискретных сигналов (ускорение действия от автоматики, необходимость контроля направления мощности короткого замыкания и др.).

Здесь можно выделить наличие статических и динамических погрешностей у трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения. Наиболее важный параметр у ТТ – предельная кратность тока, характеризующая границу диапазона токов, при которых погрешность не превосходит заданного значения. В динамическом режиме необходимо учесть нелинейность характеристики намагничивания сердечника ТТ, т. к. неискаженная передача первичного тока может осуществляться лишь в случае, если индукция в сердечнике не превышает индукции насыщения. Наиболее про-

стой способ имитации приведенных факторов – введение понижающего коэффициента на время существования в токе короткого замыкания апериодической составляющей.

2. Выделение выходных дискретных сигналов для формирования битовых полей микроконтроллера: отключение выключателя, ускорение действия комплекту защиты параллельной линии, высокочастотные сигналы РЗ противоположного конца линии, запуск УРОВ.

3. Формирование алгоритмов работы РЗ. Причем если время, затраченное процессором ВМК на логику работу и формирование выходных сигналов оказывается меньше реального времени действия защиты, его необходимо искусственно увеличить.

В данной статье приводятся некоторые результаты выше сформулированной задачи моделирования средств РЗ и ПА. В частности, одним из наиболее распространенных элементов во входных цепях микроэлектронных и микропроцессорных РЗ является полосовой фильтр второго порядка, выделяющий сигналы частотой 50 Гц [2].

Анализ схемы фильтрации, выполненный с помощью теории графов и формулы Мэзона [3] позволил определить его передаточную функцию (ПФ): $W(p) = -\dfrac{B1 \cdot p}{A \cdot p^2 + B2 \cdot p + C}$, где коэффициенты ПФ равны B1 = 1,333; A = 0,00484; C = 483,753.

Проведен подробный анализ и исследование свойств данного фильтра с помощью математического пакета MathCAD. На его основе сделан вывод, что наиболее оптимальным способом моделирования является решение дифференциального уравнения фильтра, которое следует из полученной ПФ:

$$\frac{Uвых(t)}{Uвх(t)} = -\frac{B1 \cdot \dfrac{d}{dt}}{A \cdot \dfrac{d^2}{dt^2} + B2 \cdot \dfrac{d}{dt} + C \cdot \dfrac{d}{dt}},$$

где $Uвых(t)$ и $Uвх(t)$ – выходной и входной сигналы моделируемого фильтра.

Для программирования микропроцессоров СГП уравнение, путем математически строгих эквивалентных преобразований, преобразуется следующим образом:

• исходное дифференциальное уравнение представляется в виде суммы полных производных

$$A \cdot \frac{d^2 Uвых(t)}{dt^2} + \frac{d(B2 \cdot Uвых(t) + B1 \cdot Uвх(t))}{dt} + C \cdot Uвых(t) = 0$$

• последовательно интегрируется до исключения производных независимой переменной

$$A \cdot \frac{dUвых(t)}{dt} + B2 \cdot Uвых(t) + B1 \cdot Uвх(t) + Z1 = 0,$$

где Z1 – результат интегрирования замены

$$\frac{dZ1}{dt} = C2 \cdot Uвых(t);\ A2 \cdot Uвых(t) + Z2 = 0,$$

где Z2 – результат интегрирования замены $\dfrac{dZ2}{dt} = B2 \cdot Uвых(t) + B1 \cdot Uвх(t) + Z1$.

Полученные уравнения образуют подготовленную для решения систему уравнений:

$$\begin{cases} Uвых = \dfrac{-1}{A2} \cdot Z2 \\ \dfrac{dZ2}{dt} = B2 \cdot Uвых + B1 \cdot Uвх + Z1 \\ \dfrac{dZ1}{dt} = C2 \cdot Uвых \end{cases}$$

Решение системы методом Эйлера запрограммировано в микроконтроллер СГП ВМК РВ ЕЭС. Временя, требуемое процессором для решения, составило 3 микросекунды, что укладывается в имеющиеся в модуле СГП резервы. Погрешность расчета находится в пределах допустимого одного процента. Результаты моделирования сопоставимы с аналогичными в MathCAD-е.

Представленные результаты показывают, что возможности данного звена полностью удовлетворяют требованиям. Точность решения сопоставима с точностью работы современных РЗ. Время выполнения операций, составляет незначительную часть от совокупного времени. Следовательно, рассмотренный подход является адекватным для использования.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 9–10/1. – С. 164–170.
2. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ2802 / А.Н. Бирг, Г.С. Нудельман, Э.К. Федоров и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 144 с.: ил. – (Б-ка электромонтера; Вып. 612).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 559 с., ил.

ПОНИЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТЫВАЭНЕРГО

Пузырев Е.В.

Научный руководитель: Толстихина Л. В. к.т.н., доцент кафедры ГГЭЭС

Сибирский федеральный университет Саяно-Шушенский филиал, РХ, г. Саяногорск, п.г.т. Черемушки, д. 15
E-mail: Jane2387@mail.ru

В настоящее время одной из проблем эксплуатации энергосистемы Тываэнерга являются перенапряжения в узлах аварийных режимах, а также сезонные перенапряжения. Это обусловлено наличием протяженных линий электропередач, таких как: от подстанции Шушенская-опорная до подстанции Туран L=234 км; от подстанции Абаза до подстанции Ак-Довурак L=231 км.

Расчет аварийных режимов с использованием программы RastrWin позволяет сделать заключение, что при отключении линий $U_{Н}$=220 кВ Чадан-Ак-Довурак и Ак-Довурак-Абаза на вышеуказанных подстанциях возникают опасные перенапряжения.

Целью данной работы является определение мощности компенсирующих устройств и места их установки. Имеющиеся на подстанции Ак-Довурак два синхронных компенсатора суммарной установленной мощностью 30 МВар не способствуют в полной мере компенсации реактивной мощности. При аварийном отключении линии Абаза-Ак-Довурак уровни допустимых напряжений не являются опасными для силовых трансформаторов (рис. 1).

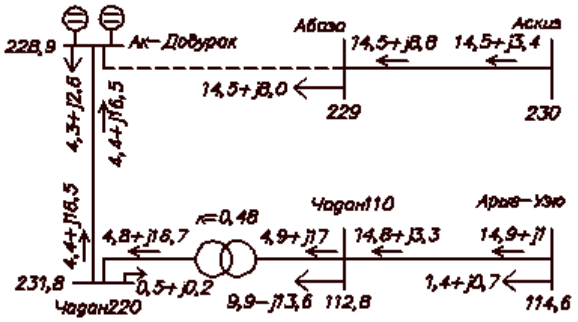


Рис. 1. Аварийное отключение линии Абаза-Ак-Довурак

При аварийном отключении линии Чадан-Ак-Довурак напряжения на подстанции Чадан увеличиваются до опасных значений (рис. 2).

Расчеты показывают, что в данном случае напряжения на подстанции Чадан на стороне высшего и среднего напряжения составляют $U_{ВН}$=283,9 кВ и $U_{СН}$=136,3 кВ. Анализ результатов расчета аварийных режимов показывает, что компенсирующие устройства необходимо устанавливать на подстанции Чадан.

Расчетным путем выявлено, что установка компенсирующего устройства необходима на подстанции Чадан на $U_{СН}$=110 кВ. Поскольку сеть от Кызыла до Абазы является магистральной, а опасные повышения напряжения возникают на подстанциях Ак-Довурак и Чадан, то поиск места установки компенсирующих устройств не является сложной задачей.

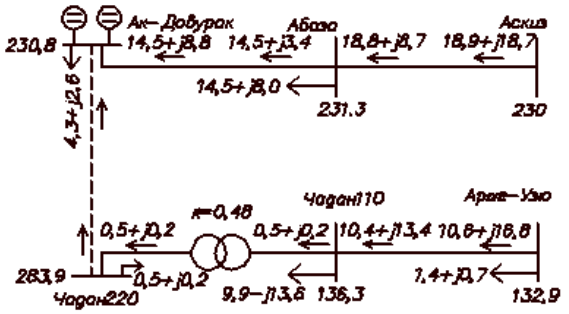


Рис. 2. Аварийное отключение линии Чадан-Ак-Довурак

Для компенсации реактивной мощности предполагается использовать управляемые шунтирующие реакторы. Управляемые шунтирующие реакторы предназначены для автоматического управления потоками реактивной мощности и стабилизации уровней напряжения, что позволяет:

- обеспечить допустимые уровни напряжения при выполнении программ переключений;
- обеспечить требуемую загрузку генераторов электростанций по реактивной мощности;
- снизить число коммутаций выключателей;
- снизить число переключений устройств РПН трансформаторов и автотрансформаторов;
- повысить пропускную способность межсистемных связей;
- устранить суточные и сезонные колебания напряжения в электрической сети;
- повысить качество электрической энергии;
- оптимизировать и автоматизировать режимы работы электрической сети;
- снизить потери электроэнергии при ее транспортировке и распределении;

• повысить устойчивость энергосистемы;

• избежать эффекта «лавины напряжения» при возникновении аварийных ситуаций в электрической сети (например, аварийное отключение нагрузки, генератора, линии электропередачи).

Результат расчета аварийного режима с отключением линии Чадан-Ак-Довурак на подстанции Чадан 110 кВ показал, что необходимо установить управляемый шунтирующий реактор типа РТУ-25000/110. После установки шунтирующего реактора при отключенной линии Чадан-Ак-Довурак напряжения на подстанции Чадан снижаются до безопасного уровня и на стороне высшего напряжения составляют $U_{ВН}$=237,1 кВ, а на среднем $U_{СН}$=113,8 кВ (рис. 3).

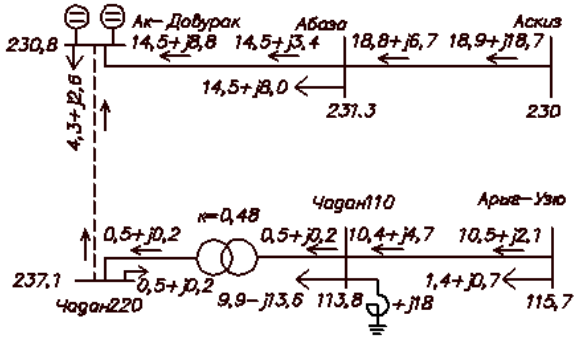


Рис. 3. Аварийное отключение линии Чадан-Ак-Довурак с установкой РТУ-25000/110 на подстанции Чадан

В случае одновременного вывода из работы обоих синхронных компенсаторов на подстанции Ак-Довурак реактор РТУ-25000/110 на подстанции Чадан в состоянии обеспечивать требуемый уровень напряжения и допустимый по изоляции на подстанции Ак-Довурак в аварийном режиме (рис. 4).

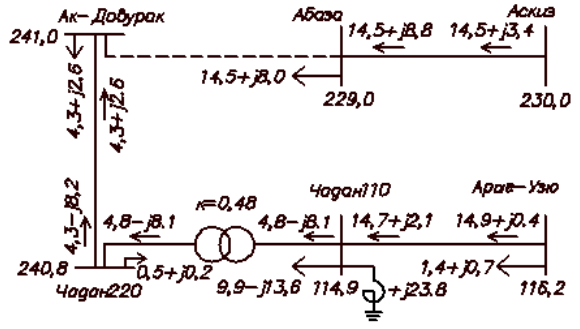


Рис. 4. Аварийный режим при отключении синхронных компенсаторов на подстанции Ак-Довурак и отключении линии Абаза-Ак-Довурак

В установившихся режимах реактор РТУ-25000/110 можно использовать для сезонного регулирования напряжения. Если на подстанции Ак-Довурак включены оба синхронных компенсатора с загрузкой 75%, а загрузка реактора РТУ-25000/110 составит 90%, то это обеспечит уровень напряжения безопасный для изоляции силовых трансформаторов (рис. 5). Это позволяет сохранить замкнутую кольцевую схему на участке Шушенская-опорная-Туран.

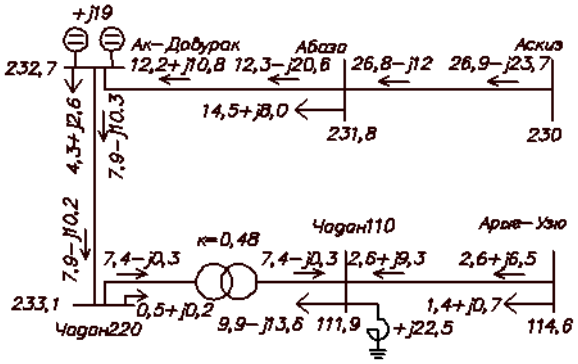


Рис. 5. Сезонное регулирование напряжения в нормальном режиме с использованием РТУ-25000/110

Использование управляемого шунтирующего реактора позволяет устранить сезонные повышения напряжения в электрической системе, а также снизить опасные перенапряжения в аварийных режимах. В целом это способствует улучшению технико-экономических показателей электрической системы, таких как:

• снижение потерь напряжения и мощности;

• увеличение пропускной способности линий электропередач;

• повышение качества электрической энергии;

• повышение надежности электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Пузырев Е.В. Повышение надежности электроснабжения электропотребителей южных регионов Сибири. Гидроэнергетика: вчера, сегодня, завтра: материалы научно-практической конференции с международным участием (п.г.т. Черемушки, 17 апреля 2009 г.) / Сиб. федер. ун-т, Саяно-Шушенский филиал. – Саяногорск, 2009. – 78 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА ЧАСТОТУ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рагимов Э.В.

Научный руководитель: Шульженко С.В. к.т.н., доцент

Московский энергетический институт (технический университет)
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная 14
E-mail: turbo67@rambler.ru

Любое нарушение соответствия между выработкой электроэнергии и её потреблением немедленно отражается на качестве электроэнергии. Критерием такого соответствия является наличие баланса мощности между генераторами энергосистемы и её потребителями при номинальной частоте электрического тока. Частота в энергосистеме является показателем состояния баланса мощности; задача поддержания баланса сводится к поддержанию номинальной частоты.

Регулирование частоты является сложным мероприятием, и оно еще больше усложняется в Автономных Электроэнергетических Системах (далее АЭЭС) из-за ее особенностей.

Сооружение АЭЭС зачастую связано с географической особенностью региона. Это, как правило, районы севера, острова и т. д. где затруднительно, экономически нецелесообразно, порой, даже технически невозможно подключение АЭЭС к Единой Электроэнергетической Системе (далее ЕЭС).

Раздельная работа АЭЭС с ЕЭС имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Благодаря раздельной работе переходные процессы, возникающие в одной части Электроэнергетической системы, не распространяется в другие части ЭЭС, и это решает часть вопросов, связанные с обеспечением как статической, так и динамической устойчивости электроэнергетической системы.

Отрицательной стороной АЭЭС является ограниченный резерв мощности. Для покрытия пиков АЭЭС вынуждена использовать только свой резерв из-за отсутствия связи с ЕЭС. И если этого резерва не хватает, то происходит снижение частоты.

Разработка программного комплекса позволяет провести анализ работы АЭЭС. Исходные данные считываются из унифицированного формата ЦДУ с возможностью редактирования в самой программе или вводятся вручную. Поскольку АЭЭС не связана с ЕЭС, то при разработке программы исключено понятие балансирующего узла. Расчет ведется с изменением частоты. Для расчета установившегося режима с изменением частоты, а также для улучшения сходимости режима используется метод Ньютона второго порядка.

Для расчета установившихся режимов при изменении частоты задаются мощности всех без исключения генераторов и нагрузок, а также их зависимости от частоты и напряжения.

Моделирование генераторов

Зависимость активной мощности генератора $P_Г$ от частоты определяется действием АРС и может быть учтена эквивалентным тангенсом угла наклона $\wp$ моментно-скоростной характеристики турбины.

$$P_Г = (1+S)(P_{Г0} - P_{Гном}\frac{\delta}{\sigma}) = (1+S)(P_{Г0} + P_{Гном}\cdot\wp\cdot\delta)$$

$\delta = \frac{\omega-\omega_0}{\omega_0}$ – относительное изменение частоты;

$\sigma = -\frac{1}{\wp}$ – коэффициент статизма АРС;

$P_{Г0}$ и $P_{Гном}$ – начальная и номинальная мощность агрегата. Если АРС отсутствует, то $\wp = -1$ и мощность остается практически неизменной ($P_Г = Const$). При действии АРС величина $\wp$ зависит от его статизма. Обычно статизм АРС составляет от 2 до 10%. Соответственно $\wp_{АРС} = -(50-10)$.

Зависимость реактивной мощности генератора $Q_Г$ от частоты во многом определяется АРС турбины. В частном случае ограничения по активной ($P_Г = Const$) регулирующий эффект $\frac{\partial Q_Г}{\partial\omega}$ колеблется в диапазоне от 1 до 3. При действии АРС ($P_Г = Var$) величина $\frac{\partial Q_Г}{\partial\omega}$ оказывается больше в несколько раз: $\frac{\partial Q_Г}{\partial\omega}$ =5–15. На величину $\frac{\partial Q_Г}{\partial\omega}$ влияют также и другие факторы. При расчете существенен учет ограничений $Q_{Г\min} \le Q_Г \le Q_{Г\max}$, причем располагаемый диапазон по реактивной мощности (следовательно – эффективность АРВ) определяется активной нагрузкой генератора. Точный учет зависимостей $Q_{Г\min}$ и $Q_{Г\max}$ от $P_Г$ и частоты весьма сложен и при реальной погрешности исходной информации вряд ли целесообразен. Поэтому в расчетной методике величины $Q_{Г\min}$ и $Q_{Г\max}$ принимаются фиксированными, как и в расчетах на ЭВМ нормальных установившихся режимов [1].

Моделирование нагрузки

При расчете режима помимо статических характеристик по напряжению $P_н(U)$ и $Q_н(U)$ необходимо учитывать аналогичные характеристики по частоте. Характеристики нагрузок можно представлять в виде полиномов от напряжения и относительно изменения частоты.

$$P_н = P_{н0}\left[(a_0 + a_1(\frac{U}{U_{ном}}) + a_2(\frac{U}{U_{ном}})^2\right]\left[\alpha_0 + \alpha_1(1+S)\right],$$

$$Q_н = Q_{н0}\left[(b_0 + b_1(\frac{U}{U_{ном}}) + b_2(\frac{U}{U_{ном}})^2\right]\left[\beta_0 + \beta_1(1+S)\right],$$

$P_{н0}, Q_{н0}$ – начальные мощности; $U_{ном}$ – номинальное напряжение; a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, α_0, α_1, β_0, β_1 – постоянные коэффициенты.

Регулирующие эффекты нагрузок по частоте обычно составляют $\frac{\partial P_н}{\partial \omega} = 1-2$; $\frac{\partial Q_н}{\partial \omega} = -(1-6)$.

Для исследования влияния нагрузки на частоту выбрали автономную сеть 220/110 кВ с суммарной потребляемой мощностью 295 МВт (без учета потерь в линиях и трансформаторах). Суммарная генерируемая мощность составляет 300 МВт (рис. 1).

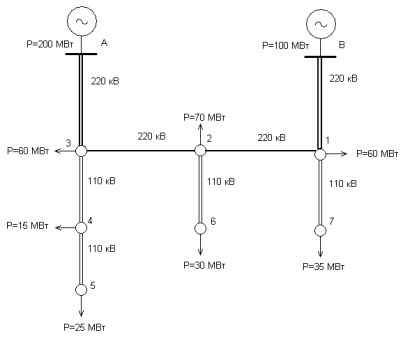
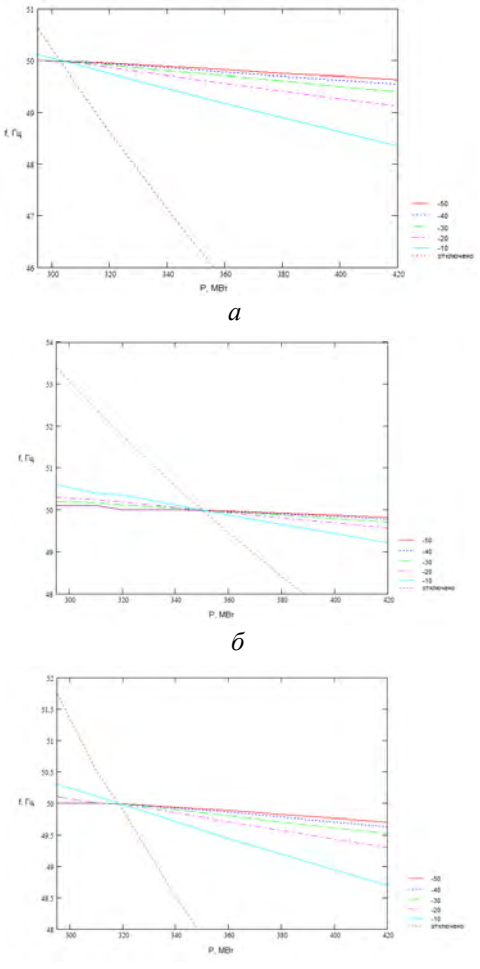


Рис. 1. Исследуемая автономная сеть.

С помощью вышеописанной программы проведены расчеты установившегося режима с разными коэффициентами статизма АРС и при отключении АРС для разных статических характеристик нагрузки (далее СХН). На рис. 2 показаны зависимости частоты от суммарной потребляемой мощности.

Проведенные расчеты показали, что для всех типов СХН при коэффициенте статизма АРС –50 и –40 для суммарной потребляемой мощности 295 МВт обеспечивается нормальная частота в пределах допустимого отклонения. При вышеуказанных коэффициентах статизма АРС также поддерживается номинальная частота при увеличении суммарной потребляемой мощности на 8,47%.



а

б

в

Рис. 2. Кривые зависимости f(P) для различных типов СХН: а) СХН 1; б) СХН 2; в) СХН 3

При коэффициентах статизма АРС –30, –20 и –10 для суммарной потребляемой мощности 295 МВт частота для первого типа СХН остается пределах нормы и отклоняется в большую сторону для остальных типов СХН.

При отсутствии АРС при суммарной потребляемой мощности 295 МВт частота увеличена сильно и резко идет вниз при увеличении нагрузки.

В целом для выбранной автономной системы при данной генерируемой и потребляемой мощности регулирование частоты при наличии АРС осуществимо.

Список литературы

1. Нажимутдинов М. Методика расчета на ПЭВМ самоустанавливающихся режимов МЭИ: 1981. – 120 с.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 416 с.

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ММК» И НАЛОЖЕНИЕ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

Ротанова Ю.Н., Абрамовских П.В., Туз И.В.

Научный руководитель: Ротанова Ю.Н.., к.т.н., ст.преподаватель

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
455049, Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
E-mail: rotjuil720@mail.ru

Существенное влияние на динамическую устойчивость оказывает структура построения системы электроснабжения ОАО «Магнитогорского металлургического комбината» (СЭС ОАО «ММК»), поскольку она имеет сложнозамкнутую конфигурацию электрической сети возможно большое количество оперативных состояний, каждое из которых будет характеризоваться различной степенью устойчивости.

В работе рассмотрены следующие варианты: вариант 1 – кольцевая сеть замкнута; вариант 2 – кольцевая сеть разомкнута по существующей схеме; вариант 3 – кольцевая сеть поделена на два параллельных кольца путем отключения шиносоединительных выключателей на всех РУ –110 кВ; вариант 4 – деление кольцевой сети на узлы ЦЭС–ПС 30–ПС 96; ПС 90–ПС 63; ПС 77–ТЭЦ, ПС 60; связанные только по напряжению 220 кВ.

Рассмотрение режимов короткого замыкания с точки зрения анализа устойчивости заключается в рассмотрении поведения синхронных генераторов, а также синхронных и асинхронных двигателей собственных нужд в процессе короткого замыкания и после его ликвидации. Кроме того, для комплексной оценки той или иной конфигурации схемы с учетом режимов работы коммутационных аппаратов и токоведущих частей в работе проведен расчет и анализ значений токов короткого замыкания и величин остаточных напряжений в сети 110 кВ. Для каждой из точек короткого замыкания было выявлено предельное время отключения короткого замыкания, при превышении которого нарушается динамическая устойчивость работы синхронных или асинхронных машин. В табл. 1 для каждого из вариантов конфигурации внешней сети при трехфазном коротком замыкании (ТКЗ) на секциях шин (с.ш.) 110 кВ ТЭЦ показано поведение генераторов ТЭЦ, приведены предельные времена отключения ТКЗ, потери активной мощности.

Как видно из табл. 1, рассматриваемые варианты практически равноценны по показателям динамической устойчивости. Вариант 3 обладает большей устойчивостью для турбогенераторов ТГ-4,5,6, что объясняется их меньшей электрической удаленностью от точки короткого замыкания (трансформаторы Т-4, Т-5, Т-6 имеют меньшее значение u_k% – 11,5% вместо 11,78%).

Таблица 1

Критерии оценки конфигурации схемы сети 110 кВ на примере генераторов ТЭЦ при коротком замыкании на шинах РУ–110 кВ

Схема сети 110 кВ	Максимальный угол ротора турбогенератора, град., наименования генераторов	Предельное время отключения короткого замыкания, с	Потери активной мощности в сетях МПУ, МВт
Вариант 1	92° (ТГ–5)	0,3	11,44
Вариант 2	93° (ТГ-4,5)	0,3	14,89
Вариант 3 1 с.ш.	88° (ТГ-1)	0,6	12,59
Вариант 4	ТГ-4 – 105°, процесс затухает; ТГ-5 – 112°, процесс затухает; ТГ-6 – 97°, процесс затухает и вновь начинается раскачивание	0,3	15,03

Значительнее всего уровень динамической устойчивости в ремонтных режимах определяет отключение линий связи с энергосистемой и автотрансформаторов на подстанциях связи. Ниже приведены результаты анализа при наложении аварийных на ремонтные режимы. В табл. 2. представлены возможные ремонтные режимы СЭС ОАО «ММК». В случае наложения ремонтного режима на аварийную ситуацию при отключении линий связи сопротивление системы увеличивается и возрастает нагрузка на работающее оборудование, что приводит к снижению уровня напряжения и в дальнейшем к нарушению устойчивости. Кроме того, в ремонтных режимах возрастают установившееся значения углов роторов генераторов относительно исходных, что объясняется большей электрической удаленностью от энергосистемы и приводит к снижению динамической устойчивости.

При отключении одного из автотрансформаторов подстанций связи сопротивление увеличивается, что приводит к снижению токов короткого замыкания, но при этом существенно уменьшается надежность системы электроснабжения и уменьшается срок службы электрооборудования. При отключении автотрансформатора АТГ-1 на ПС «Магнитогорская» при ТКЗ на ТЭЦ, как станции, имеющей наименьшую электрическую удален-

ность, наблюдается несущественное снижение предельного времени отключения короткого замыкания с 0,35 до 0,33 с, что не окажет влияния на эффективность релейной защиты, поэтому ремонтный режим характеризуется незначительным снижением динамической устойчивости.

Таблица 2

Отключение одного из автотрансформаторов на подстанциях связи и системных подстанциях при возникновении короткого замыкания на электростанции

Режим работы	Точка ТКЗ	$t_{откл.}$, с	Максимальный угол генератора и поведение генераторов
Ремонтный режим: отключение АТ-2 на ПС «Магнитогорская»	На РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 35	ТГ-4 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-5 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-6 115º.
Нормальный режим	На РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 35	ТГ-4 ТЭЦ 132º, ТГ-5 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-6 111º.
Нормальный режим	На РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 33 (предельное время отключения)	ТГ-4 ТЭЦ 105º, ТГ-5 ТЭЦ 107º, ТГ-6 98º.
Ремонтный режим: отключение АТ-2 на подстанции 30	На РУ-110 кВ ЦЭС	0, 37	ТГ-1 ЦЭС 115º, ТГ-3 ЦЭС 103º, ТГ-4б ЦЭС 134º, ТГ-5 ЦЭС 138º, ТГ-6 ЦЭС 133º, ТГ-8 ЦЭС 130º, ТГ-1 ПВЭС-2 91º, ТГ-3 ПВЭС-2 106º, ТГ-4 ПВЭС-2 126º.
Нормальный режим	На РУ-110 кВ ЦЭС	0, 37	ТГ-1 ЦЭС 107º, ТГ-3 ЦЭС 102º, ТГ-4б ЦЭС 127º, ТГ-5 ЦЭС 133º, ТГ-6 ЦЭС 128º, ТГ-8 ЦЭС 126º, ТГ-1 ПВЭС-2 90º, ТГ-3 ПВЭС-2 106º, ТГ-4 ПВЭС-2 122º

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВА АВР С КОНТРОЛЕМ СИНХРОНИЗМА С УПРАВЛЕНИЕМ ПО ПРОГРАММНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рыжкина И.С., Абеуов Р.Б.

Научный руководитель: Абеуов Р.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bellka_89@sibmail.com

В настоящее время в отечественной энергетике наблюдается настоящий бум внедрения тепловых электростанций малой мощности (мини-ТЭС). Особенно активно этот процесс развивается в нефтедобывающих регионах России, где с ростом нефтедобычи и необходимостью утилизации попутного газа появилась острая необходимость в дополнительных генерирующих мощностях. Дешевизна используемого топлива, сравнительно небольшая стоимость, простота эксплуатации, а также ряд других преимуществ обусловили широкое применение мини-ТЭС выполненных на основе газотурбинных и газопоршневых агрегатов [1].

На практике такие мини-ТЭС эксплуатируются в сетях низкого и среднего напряжений, где применяется исключительно раздельный режим работы секций генераторных шин и отходящих линий (рис. 1).

Выбор раздельного режима работы в этих сетях определяется, прежде всего, требованием ограничения токов короткого замыкания. Существенным недостатком такого режима являются неизбежные перерывы питания потребителей, связанные с действием устройств автоматического ввода резерва (АВР) резервирующих линий. Наличие этих устройств в сетях среднего и низкого

напряжений, содержащих мини-ТЭС, является непременным условием обеспечения надежности электроснабжения потребителей 1-й и 2-й категорий.

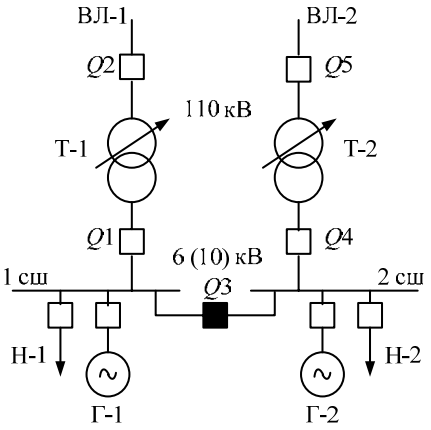


Рис. 1 Схема сети среднего напряжения с генераторами мини-ТЭС

Важно отметить, что при появлении собственных мини-ТЭС у потребителей традиционно применяемые схемы АВР оказываются непригодными. Причина в том, что бесконтрольная работа АВР при наличии в сети генераторов опасна, так как их несинхронное включение может привести к серьезным аварийным нарушениям. В этих случаях должны использоваться нетрадиционные схемы АВР.

В настоящее время в распределительных сетях, на подстанциях, где имеется двигательная нагрузка большое распространение получили схемы быстродействующего АВР [2, 3], которые принципиально могли бы быть использованы и на подстанциях с агрегатами мини-ТЭС, однако, при значительном относительном скольжении между векторами напряжений потерявшей питание и резервной секциями шин, а также в случае замедленного включения секционного выключателя, такие схемы АВР не позволяют исключить возможность противофазного включения генераторов мини-ТЭС. Так как при этом могут протекать большие пусковые токи, то под действием релейной защиты возможно ложное отключение резервной линии и полное обесточивание обеих секций шин подстанции. Кроме того, режим противофазного включения опасен и для самих генераторов мини-ТЭС, так как может вызвать их разрушение.

Одним из путей решения задачи синхронного включения секций шин с подключенными к ним генерирующими агрегатами малой мощности на параллельную работу, является применение устройств АВР с контролем синхронизма. Известные устройства АВР такого типа основаны на использовании специального пускового органа, который улавливает непосредственно, либо определяет с некоторым упреждением момент совпадения фаз напряжений на потерявшей питание и резервной секции шин после чего подает команду на включение секционного выключателя.

Реализация данного алгоритма и его практическое внедрение сопряжено со значительными трудностями, которые связаны с большим временем срабатывания из-за ожидания совпадения угла разности фаз, а также сравнительно невысокой точностью его определения.

Одним из способов автоматического управления, который может быть положен в основу построения устройств АВР с контролем синхронизма, позволяющих повысить точность параметров синхронизации и сократить время, включения, является способ управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов [4].

Суть этого способа заключается в разделении задачи синтеза систем управления на подзадачу построения программных (желаемых) траекторий движения объектов и подзадачу формирования управляющих воздействий, обеспечивающих эти траектории управлений.

Описание общего принципа управления по ПТД неоднократно приводилось в ранее опубликованных работах [5,6].

Одним из явных преимуществ данного способа является высокое быстродействие и точность автоматического управления, при этом отсутствует необходимость в расчете времени и угла опережения.

Исследования, подтверждающие принципиальную возможность использования принципа управления по программным траекториям движения технических объектов в качестве алгоритма управления для АВР с контролем синхронизма выполнялись на цифровой трехфазной динамической модели энергосистем, разработанной совместно специалистами Томского политехнического университета и Томского университета систем управления и радиоэлектроники, и подробно описаны в ранее опубликованных работах [7,8]

Особенностью предлагаемого алгоритма управления АВР с контролем синхронизма, по отношению к известным, является формирование процесса управления с высокой точностью, за короткое время. Проведенные исследования показали, что данный алгоритм может быть использован для создания нового устройства АВР с контролем синхронизма, и позволит исключить из процесса автоматического управления некорректные операции типа «подгонка» и «ожидание» и, как следствие, уменьшить длительность и повысить качество переходных процессов, сопровождающих включение генераторов потерявшей питание секции шин на параллельную работу с сетью.

Список литературы

1. Абеуов Р.Б., Барановский И.Д., Хрущев Ю.В. Условия работы газотурбинных станций в электроэнергетических системах // 38 Вестник УГТУ-УПИ. «Проблемы управления электроэнергетикой в условиях конкурентного рынка»: Сборник трудов / отв. ред. П.И. Бартоломей. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – №12(64). – С. 306–308.

2. А.с. СССР № 493858, кл. H 02 J 9/06. Способ автоматического включения резервного питания потребителей / Шаин А.Д., Левин А.Г., Трифонов М.А. – Заявлено 11.12.1973; Опубл. 30.11.1975.
3. А.с. СССР № 699610, кл. H 02 J 9/06. Устройство для автоматического включения резервного питания потребителей для подстанций с двигательной нагрузкой / Сивокобыленко В.Ф., Гребченко Н.В. – Заявлено 02.08.1977; Опубл. 25.11.1979.
4. Хрущев Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. – Томск: STT, 2001. – 310 с.
5. Абеуов Р.Б., Заподовников К.И., Тановицкий Ю.Н., Хрущев Ю.В. Автоматическое управление процессом синхронизации генераторов мини-ТЭС по программным траекториям движения технических объектов // «Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники». – Томск: Изд. ТУСУР. – 2007. – №2(16). – С. 180–185.
6. Абеуов Р.Б. Управление генераторами электростанций по программным траекториям движения технических объектов // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2007. – С. 95–97.
7. Романов Р.О., Абеуов Р.Б. Управление синфазным АВР по программным траекториям движения // Современные техника и технологии: Материалы пятнадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ. – Т. 1. – 2009.– С. 90–92.
8. Абеуов Р.Б., Хрущев Ю.В. Автоматическое синфазное включение резерва на мини-ТЭЦ с управлением по программным траекториям движения технических объектов // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2009.– С. 241–244.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Сарсикеев Е.Ж., Никитин М.В.

Научный руководитель: Лукутин Б.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sarsikeev@tpu.ru

Необходимость энергоснабжения изолированных потребителей, а также наличие в большинстве из этих регионов достаточного потенциала ветроэнергетических ресурсов обуславливает использование ВЭУ в локальных системах энергообеспечения. Результатами исследования [1] доказано, что наибольшая эффективность комбинированных систем обеспечивается управлением режимами работы.

Целью настоящей работы является оценка влияния массогабаритных показателей ВЭУ в динамических режимах.

Характерным отличием локальных систем электроснабжения является соразмерность мощностей генерирующих и потребляющих установок. В таком случае имеется существенное взаимовлияние параметров локальной системы электроснабжения. Наиболее оптимальным режимом работы является баланс потребляемой и вырабатываемой электроэнергии. Однако такого момента равновесия добиться в реальных условиях практически невозможно, т. к. параметры ветрового потока и график нагрузки потребителей не постоянные во времени величины.

Статическое равновесие ВЭУ лучше рассматривать по представленной на рис. 1 механической характеристике в относительных единицах. Данное семейство зависимостей типовое для всех ВЭУ крыльчатого типа без устройств аэродинамического регулирования.

Состояние равновесия характеризуется равенством вращающих и нагрузочных моментов. В случае нарушения равенства возникает переходной процесс, в результате которого изменение электромеханических параметров длится дольше электромагнитных на несколько порядков.

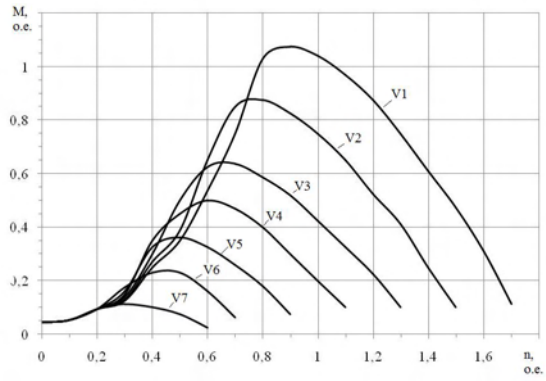


Рис. 1. Механическая характеристика ветродвигателя

Динамический процесс, возникающий при разнице моментов, описывается дифференциальным уравнением движения ротора агрегата «ветродвигатель-генератор»

$$M_{вд} - M_{ген} = J\frac{d\Omega}{dt}, \qquad (1)$$

где J – суммарный момент инерции вращающихся масс, кг·м^2.

Очевидно, что момент инерции ветроколеса гораздо больше моментов инерции остальных вращающихся масс генератора, редуктора и пр. Суммарный момент инерции будет равен сумме всех моментов инерции вращающихся частей. С допущениями можно определить момент инерции одной лопасти

$$J = \frac{1}{3} m \cdot R^2, \qquad (2)$$

где m – масса одной лопасти, кг; R – радиус ветроколеса, м.

Как правило, для оценки электромеханических процессов используют механическую (инерционную) постоянную

$$H_j = \frac{J \cdot \Omega_{ном}^2}{P_{ном}}, \qquad (3)$$

где $\Omega_{ном}$ – номинальная угловая скорость ветроколеса, об/сек; $P_{ном}$ – номинальная мощность ВЭУ, Вт.

Из формул (2) и (3) вполне объяснимо, что установкам с большими массогабаритными показателями свойственна большая инерционность.

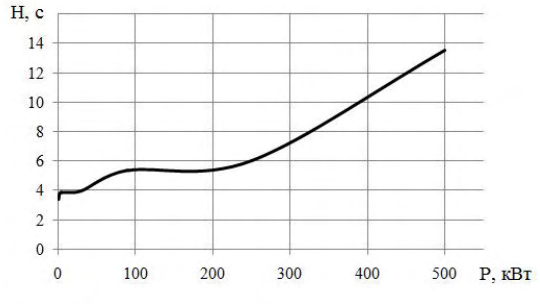


Рис. 2. Зависимость механической постоянной от номинальной мощности ВЭУ

На рис. 2 приведен график инерционной постоянной в зависимости от номинальной мощности ВЭУ. Следует заметить, что данную величину с некоторыми допущениями для определенных значений мощности можно принять в виде линейной зависимости. Для построения графика, изображенного на рис. 2, использованы данные следующих установок «Сапсан-1», «Сапсан-5», «Муссон», «Vestas V19», «АВЭ-250» и «Vestas V39» мощностями соответственно 1, 5, 30, 90, 250 и 500 кВт

Используя формулу (1), произведем исследование переходных процессов по механической характеристике ВЭУ при изменении характерных параметров.

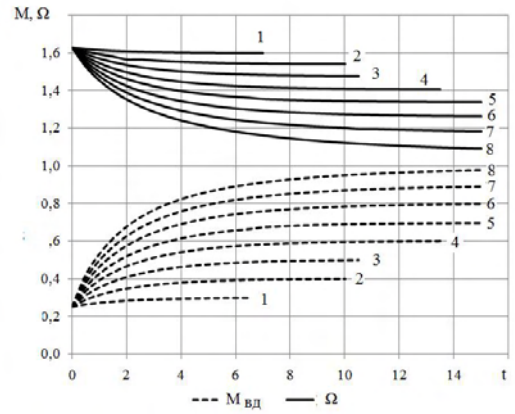


Рис. 3. Наброс момента нагрузки: 1 – $M_{ген}$=0,3; 2 – $M_{ген}$=0,4; 3 – $M_{ген}$=0,5; 4 – $M_{ген}$=0,6; 5 – $M_{ген}$=0,7; 6 – $M_{ген}$=0,8; 7 – $M_{ген}$=0,9; 8 – $M_{ген}$=1

На рис. 3 и 4 приведено изменение момента ветродвигателя и частоты вращения во времени при постоянной скорости ветра (V1). Исследованы переходные процессы, исходным точкам которых соответствует $M_{вд}$=$M_{ген}$=0,25 и $M_{вд}$=$M_{ген}$=1, при увеличении и уменьшении момента нагрузки по ряду значений.

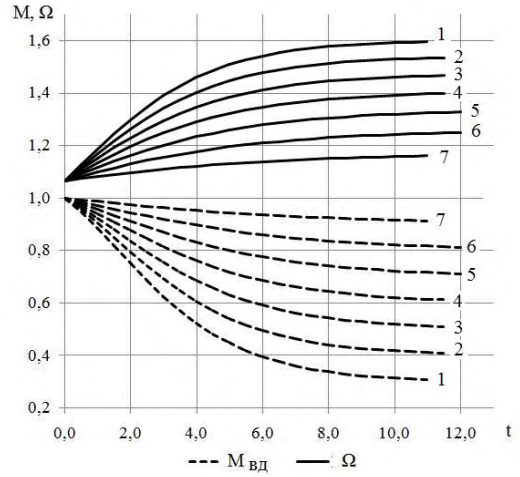


Рис. 4. Сброс момента нагрузки: 1 – $M_{ген}$=0,3; 2 – $M_{ген}$=0,4; 3 – $M_{ген}$=0,5; 4 – $M_{ген}$=0,6; 5 – $M_{ген}$=0,7; 6 – $M_{ген}$=0,8; 7 – $M_{ген}$=0,9

Данные расчета переходного процесса в результате изменения скорости ветра при постоянном моменте нагрузки приведены на рис. 5. Кривые 1 соответствуют изменению скорости ветра от V3 до V2 при $M_{ген}$=0,5. Кривые 2 изображают процесс при уменьшении скорости ветра от V1 до V2 при $M_{ген}$=0,75.

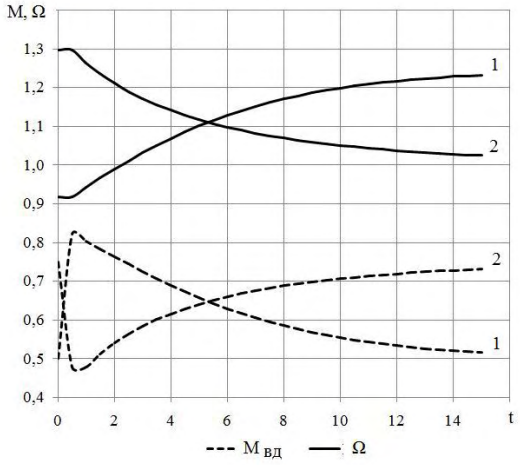


Рис. 5. Изменение момента ветродвигателя: 1 – при увеличении скорости ветра; 2 – при уменьшении скорости ветра

По рис. 3, 4 и 5, видно, что длительность электромеханических процессов в большей степени зависит не от разницы моментов в динамическом режиме, а от механической постоянной.

Анализ показал, что величина инерционности ветроколеса влияет на многие режимные показатели. В первую очередь сказанное относится к

системам аккумулирования. Как известно, электрохимические аккумуляторные батареи способны накапливать заряд только на определенном уровне напряжения и зарядного тока. Возникающие «излишки» энергии эффективно утилизировать в таких случаях не удается. Для малоинерционных систем перспективным направлением является использование суперконденсаторов. Во-вторых, при параллельной работе ВЭУ с дизельной электростанцией наибольшей эффективности можно добиться, имея сведения о быстродействии топливной системы и длительности электромеханических переходных процессов. На основе этих данных можно составить законы управления комбинированными системами. Хочется добавить, что управление частотой вращения можно добиться не только механическим, но и электрическим путем с помощью использования балластных нагрузок. На данном этапе результаты работы являются промежуточными и требуется дальнейшее исследование в этом направлении.

Список литературы

1. Лукутин, Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Сергеев П.С.

Научный руководитель: Ланграф С.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Pavel_sergeev@sibmail.com

Энергия ветра – это преобразованная энергия солнечного излучения, и пока светит солнце, будут дуть и ветры. Их энергию люди используют с незапамятных времен – достаточно вспомнить парусный флот и ветряные мельницы. В принципе преобразовать энергию ветра в электрический ток, казалось бы, нетрудно – для этого достаточно заменить мельничный жернов электрогенератором. Ветры дуют везде, они могут дуть и летом, и зимой, и днем, и ночью – в этом их существенное преимущество перед самим солнечным излучением. Поэтому вполне понятны многочисленные попытки «запрячь ветер в упряжку» и заставить его вырабатывать электроэнергию.

На современном этапе в своей повседневной жизнедеятельности, человечество сталкивается с одной из важнейших проблем: удорожание стоимости электроэнергии, цены на потребление которой с каждым месяцем возрастают. Превосходящее большинство современных электростанций на территории России работают и производят электроэнергию за счет переработки полезных ископаемых, которые, в свою очередь, являются исчерпаемым запасом и в скором будущем закончится. И тогда появится глобальная проблема: «Где взять электроэнергию?».

Целью данной работы является исследование эффективных способов применения и использования возобновляемой энергии. Одним из путей решения этой проблемы является внедрение и массовое использование электростанций производящих электроэнергию за счет возобновляемых источников, таких как энергия ветра. В докладе рассматривается наиболее эффективное взаимодействие ветроэлектростанции (ВЭС) и дизельной электростанции (ДЭС) при их параллельной работе или так называемой ветродизельной электростанции. Функциональная схема копмлекса изображена на рис. 1.

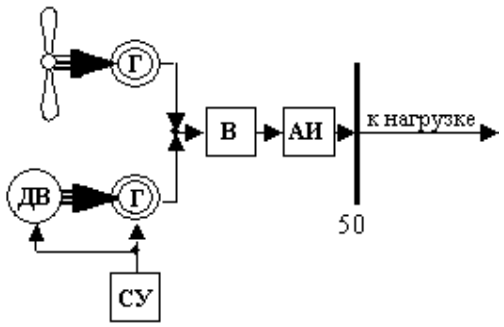


Рис. 1 Функциональная схема ВДК

На рис. 1 представлено: ДВ – дизельный двигатель, Г – синхронный генератор, СУ – система управления, В – выпрямитель, АИ – автономный инвертор.

В настоящее время ветродизельные электростанции получат огромное распространение и массовое внедрение в отдаленных, децентрализованных районах с постепенным вытеснением электростанций, работающих на традиционном топливе, что свидетельствует об актуальности и востребованности данной темы.

Эффективное решение для обеспечения независимым электроснабжением самых различных объектов: коттеджных поселков, удаленных сельскохозяйственных, рыбоводческих, рудных предприятий, районы дальнего севера и т. п. В целом открывается возможность развития пустующих территорий под жилищное и промышленное строительство.

Основа этой технологии – использование гибридных ветродизельных комлексов (ВДК) мега-

ваттной мощности в качестве источника автономной энергии. Данная технология уже много лет успешно применяется в Канаде, США, Норвегии, Австралии, на Филиппинах и еще в 70 странах.

Экономическая эффективность ветроэнергетических технологий очевидна, так, например, при использовании ВДК достигается снижение себестоимости элекроэнергии до 75–80 % от обычной дизельной электростанции (ДЭС). Существующая государственная поддержка возобновляемых источников энергии в нашей стране и стремительный рост цен на ископаемое топливо делает это решение обреченным на успех.

ВДК эффективен, начиная от минимального среднегодового ветра 4 м/с на уровне замера 10 м, что соответствует 5,7 м/с на уровне ветроколеса. Себестоимость энергии ВДК зависит главным образом от ветрового потенциала и может колебаться от 2,5 руб/кВт-ч до 1 руб/кВт-ч.

Удельные капвложения на ввод 1 кВт установленной мощности составляют 1,9 тыс. евро. Автономные источники энергии (главным образом чистые ДЭС) значительно дешевле по инвестиционным затратам, но менее эффективны по себестоимости, т. к. зависимы от коэффициента использования и стоимости топлива.

Затраты на подключение потребителей к централизованным источникам электроснабжения показывают, что для организации электроснабжения подобных объектов, удаленных на расстоянии более 20 км от головных источников, они составляют 3–5 тысяч евро и более на 1 кВт.

В силу того, что в регионах выделяются значительные средства на развитие высоковольтных сетей 110 кВ и выше, и по мере того как со временем головной источник будет размещаться в непосредственной близости от поселка, можно будет отказаться от использования ДЭС и перейти на использование ВЭС параллельно с сетью.

Основные направления в использовании ВДК.

В России 70 % территории, где проживает до 30 % населения, находится в зонах децентрализованного энергоснабжения. В них зачастую работают лишь ДЭС, на обеспечение которых топливом ежегодно расходуется до 3 млрд долларов из федерального и региональных бюджетов.

С другой стороны, эти территории практически совпадают с зонами, где реализация ветропотенциала наиболее эффективна (Камчатка, Магаданская область, Чукотка, Сахалин, Якутия, Бурятия, Таймыр, Кольский полуостров, Архангельская обл., значительная часть Северо-запада России, Дальний Восток и др.). Это делает целесообразным использование ВЭС для обеспечения электроэнергией автономных потребителей.

Высоким процентом использования энергии ветра считается показатель, превышающий 35 %. В этом случае для стабилизации частоты и напряжения недостаточно просто параллельной работы ДЭС и ветрогенератора. Такие системы требуют большого количества дополнительного оборудования, что значительно удорожает их, но, с другой стороны, позволяет экономить гораздо больше топлива, иногда и вовсе выводя ДЭС из работы.

Количество и мощность ветрогенераторов выбираются для типовых условий электрических нагрузок для поселка городского типа и с учетом возможности их монтажа в конкретных районах области. Для проектов с высоким ветроэнергетическим потенциалом от 5 (7) м/с актуально строительство ВДК с системой, позволяющей полностью останавливать дизель – генераторы при достаточной для выработки необходимого количества энергии.

При скоростях ветра 5,5–6,5 м/с выработанная ветрогенераторами энергия полностью обеспечит электроснабжение поселка в периоды максимального энергопотребления и пиковых нагрузок. В соответствии с расчетными усредненными ветровыми ресурсами не менее 4 (5,7) м/с, ветрогенераторы возьмут на себя основную часть выработки электроэнергии для поселка.

Принята внутренняя стоимость строительства ВДК для рынка России. Расчетная сумма инвестиций на возведение комплекса установленной мощности 1,6 МВт составит 3 млн евро (по курсу ЦБ РФ на первый квартал 2009г.).

ВДК будет оборудован системами автоматики, достаточной для организации безоператорного обслуживания. Однако, учитывая российскую специфику и возможные влияния внешних факторов, будет полезно иметь в наличие дежурного оператора. Поставщик ветроэнергетических установок представляет два года гарантии на свое оборудование. Также предлагается пройти обучение двум сотрудникам, которые впоследствии будут заниматься обслуживанием данной ветроэнергетической системы.

При достаточно ясном ветровом мониторинге на предварительно изученной местности на шестой-девятый месяц данного исследования может быть принято решение о сокращении срока ввода объекта до 1,2–1,5 года.

Проектная производительность ВДК не менее 2,6 млн кВт ч/год. Удельные капвложения на ввод 1 кВт установленной мощности ВДК – 1,9 тыс. евро. Установленная мощность ВЭС – 1600 кВт (2х800 кВт), дизельгенераторов – 1650 кВт (2х550 кВт + 550 кВт).

Дизель – генераторы служат основным источником электроэнергии, ветрогенераторы – вспомогательным.

С помощью тандема ВГ+ДГ осуществляется электроснабжение мощных потребителей, удаленных от централизованных сетей электроснабжения.

Как правило, традиционно задача электроснабжения в таких местах решается путем применения дизель – генераторов, следовательно, требует больших затрат на дизельное топливо, его доставку и хранение.

Применение ВГ позволяет сэкономить до 50% дизельного топлива, поскольку при достаточном ветре ДГ «разгружают» ВГ.

Преимущества комплекса:

1. Экономия дизельного топлива до 50%.

2. Отсутствует необходимость согласования с местным энергомонополистом техусловий.

3. Возможность внедрения ВГ к уже существующим у заказчика ДГ

4. Возможность масштабирования и увеличения нагрузки.

5. Возможность продажи электроэнергии субабонентам.

Список литературы

1. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
2. http://www.line-red.spb.ru

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОПЛОТНОСТИ СТРУКТУР АНОД-ЭЛЕКТРОЛИТ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Смирнов С.И.

Научный руководитель: Сочугов Н.С., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: var.s@sibmail.com

В последние несколько лет становится все более очевидным, что ключевым направлением научно-технологического переворота первой половины XXI века является глобальная энергетическая революция, стержень которой – переход от ископаемого топлива к водородной энергетике (ВЭ), базирующейся на практически неисчерпаемом и экологическом чистом источнике энергии. Это обеспечит более высокие и устойчивые темпы экономического развития, уменьшит угрозу глобальной экологической катастрофы, необратимых изменений климата [1].

Топливные элементы (ТЭ) – устройства, вырабатывающие электрическую энергию за счет энергии окислительно-восстановительных реакций жидких или газообразных реагентов, непрерывно поступающих к электродам извне. Являются химическими источниками тока непрерывного действия [2].

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), по международной терминологии – SOFC, имеют достаточно широкий диапазон перспективных применений: от портативных источников тока (10–500 Вт) до автономных стационарных электростанций (1–10 МВт). Первые опытные образцы SOFC созданы в конце 1950-х в США и Голландии. Твердооксидные топливные элементы отличаются высокой надежностью[3, 4]. Схема работы ТОТЭ представлена на рис. 1.

Плотный тонкий слой электролита расположен между двумя пористыми электродами: анодом и катодом. На анод в зону контакта с электролитом подается топливо, где оно окисляется потоком ионов кислорода из твердого электролита. При этом на аноде высвобождаются электроны, идущие во внешнюю цепь. Пройдя через внешнюю нагрузку замкнутой цепи, электроны попадают на катод, где на границе с электролитом происходит ионизация кислорода. Таким образом, через твердый электролит протекает ионный ток, равный электронному току во внешней цепи [3].

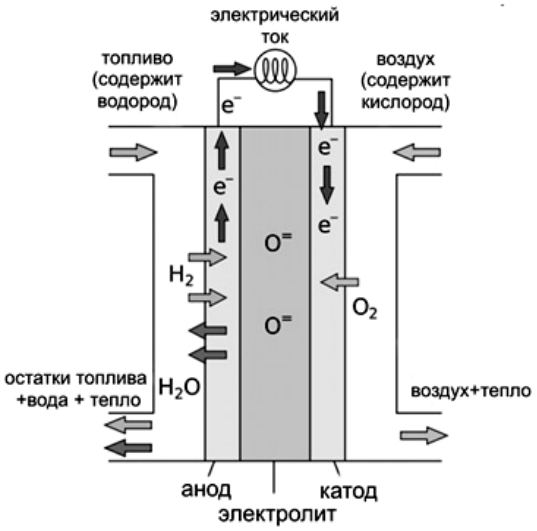


Рис. 1. Схема работы твердооксидного топливного элемента

В настоящее время наиболее часто используемыми материалами для ТОТЭ являются: проводящий по ионам кислорода диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия (YSZ), – электролит, манганит лантана стронция (LSM) – катод, никелевый кермет (Ni + YSZ) – анод. Рабочие температуры ТОТЭ находятся в интервале 700–1000 °С [3].

Целью данной работы является получение работоспособного твердооксидного топливного элемента с высоким КПД. Для этого проводились исследования по снижению газопроницаемости (повышению газоплотности) тонкопленочного электролита ТОТЭ.

В ходе проведения исследований, методом магнетронного распыления на пористую анодную подложку наносилась пленка электролита, и полученная система обрабатывалась электронным пучком [5].

Импульсная электронно-пучковая модификация пористых анодных подложек

Модификация поверхностного слоя пористых анодных подложек с целью изменения размера пор их приповерхностного слоя осуществлялась методом импульсной электронно-пучковой обработки [5]. Для этого использовался электронный источник, генерирующий низкоэнергетичный сильноточный пучок с энергией электронов E_e = 10–12 кэВ, током пучка ~ 15 кА, диаметром 70–80 мм и длительностью импульса 2–3,5 мкс. В процессе обработки использовались следующие параметры пучка: плотности энергии пучка E_s = 0,8; 1,5; 2,5; 3,5 и 4,5 Дж/см^2; количество импульсов (N) в процессе обработки составляло от 1 до 9; скорость закалки из расплава на поверхности достигала ~ 10^{10} К/с. Рабочее давление в камере находилось на уровне $3{,}8\cdot10^{-4}$ торр [6].

Измерение газопроницаемости пористых анодных подложек

Измерения газопроницаемости анодных подложек проводились методом, который заключается в помещении исследуемого образца между двумя камерами, в одной из которых создается избыточное давление газа (N_2) величиной 0,5 атм. В другой камере пузырьковым расходомером измеряется расход прошедшего через образец газа. Зная скорость потока газа через образец, можно по закону Дарси определить его газопроницаемость К, см^4/г·с: $K=dQ/\Delta P\cdot A$, где d – толщина образца, см; Q – скорость потока газа, см^3/с; ΔP – разность давления, г/см^2; А – площадь поверхности образца, см^2 [6]. Результаты измерений газопроницаемости модифицированных анодных подложек и систем анод – тонкопленочный электролит представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика исследовавшихся образцов и их газопроницаемость

№ группы	Описание образца	Параметры ЭЛО обработки				
		Плотность энергии пучка E_s, Дж/см^2	Кол. имп., N	Темпер., °С	Поток Q, мл\мин	Газопроницаемость G, моль·м$^{-2}$·с$^{-1}$·Па$^{-1}$
1	Ni/YSZ	–	–	20	420	$6.25\cdot10^{-5}$
2	Ni/YSZ+ЭПО	2.5	3	20	28	$0.41\cdot10^{-5}$
3	Ni/YSZ+ YSZ (4.7 мкм)				1.42	$2.1\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(2.5 мкм)	0.8	2	20	5	$7.4\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(2.5 мкм)	0.8	2	700	1.72	$2.6\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(2.5 мкм)	0.8	4	700	4.3	$6.3\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(3 мкм)	2.5	3	20	10	$14.8\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(3 мкм)	2.5	3	700	4.4	$5.9\cdot10^{-7}$
4	Ni/YSZ+ЭПО+YSZ(3 мкм)	3.5	3	20	12	$17.8\cdot10^{-7}$
5	Ni/YSZ+YSZ(0.5 мкм)+ЭПО	2.5	3	20	32	$47.6\cdot10^{-7}$
5	Ni/YSZ+YSZ(0.5 мкм)+ЭПО	2.5	3	700	20	$29.7\cdot10^{-7}$
5	Ni/YSZ+YSZ(1.4 мкм)+ЭПО	2.5	3	700	21	$31.2\cdot10^{-7}$
6	Ni/YSZ+YSZ(0.4 мкм)+ЭПО+YSZ(2 мкм)	0.8	2	700	15	$22.3\cdot10^{-7}$
6	Ni/YSZ+YSZ(1мкм)+ЭПО+YSZ(2.5 мкм)	0.8	2	700	0.68	$1.01\cdot10^{-7}$
6	Ni/YSZ+YSZ(2мкм)+ЭПО+YSZ(2.5 мкм)	0.8	2	700	1.1	$1.63\cdot10^{-7}$

Анализ полученных результатов

Из анализа результатов можно сделать вывод, что оптимальным элементом (элементом с наименьшей газопроницаемостью) является элемент Ni/YSZ+YSZ(1мкм)+ЭПО+YSZ(2.5 мкм). Т. е. элемент с наиболее толстым слоем электролита YSZ в дополнение обработанный импульсным электронным пучком.

Список литературы

1. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. На пути к водородной энергетике. М.: Институт экономических стратегий. 2005. – 136 с.
2. [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://www.xumuk.ru/encyklopedia
3. Иванов В.В., Липилин А.С. и др. Формирование многослойных структур твёрдооксидного топливного элемента // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ. – 2007. – №2(46). – С. 76–78.
4. [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://promti.ru
5. Production and application of low-energy, high-current electron beams/G.E. Ozur, D.I. Proskurovsky, V.P. Rotshtein, and A.B. Markov // Laser and Particle Beams, 2003, 21, 157–174.
6. Соловьев А.А., Сочугов Н.С., Шипилова А.В., Ротштейн В.П., Ковшаров Н.Ф. Импульсная электронно-пучковая модификация поверхности пористых анодов твердооксидных топливных элементов // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 9 (77) 2009. – С. 27–32.

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

Гарбузов П.Ю., Коберник Л.Д., Суслин В.А.

Научный руководитель: Шестакова В.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shestakova@elti.tpu.ru

В последние годы на основе результатов многочисленных научных исследований, опыта эксплуатации в отечественной энергетике имеется устойчивая тенденция к пересмотру режимов заземления нейтрали в электроустановках 6 ÷ 35 кВ, которые принято называть электроустановками среднего напряжения. Способ заземления нейтрали решающим образом влияет на перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях на землю. Поэтому вопросы, связанные с выбором способа заземления нейтрали, тесно связаны с другими применяемыми в настоящее время средствами ограничения перенапряжений с помощью различных технических средств, например, разрядников, нелинейных ограничителей перенапряжений и др.

Вопросы о перенапряжениях при повторных зажиганиях заземляющей дуги в сетях с изолированной нейтралью и в сетях с компенсацией емкостного тока изложены в [1, 2]. Сети с резистивным заземлением нейтрали начали получать распространение в России сравнительно недавно, но основные теоретические положения, касающиеся формирования перенапряжений в таких сетях, были сформулированы ещё в 30-е гг. XX в. и изложены в [3]. В последние годы ведётся дискуссия о целесообразности применения так называемого комбинированного заземления нейтрали, когда к дугогасящему реактору параллельно подключается заземляющий резистор. С точки зрения возникновения возможных перенапряжений на неповрежденных фазах такой режим работы нейтрали можно рассматривать как частный случай режима компенсации емкостных токов.

В настоящее время известны несколько теорий формирования перенапряжений на неповрежденных фазах при дуговых замыканиях. Данные теории отличаются друг от друга принятыми условиями горения дуги. Характерной особенностью одной из теории (теория Петерсена) является предположение о том, что после каждого зажигания дуга гаснет при первом прохождении суммарного тока замыкания через нуль. В другой теории (теория Петерса, Слепяна) принято, что дуга гаснет при первом прохождении принужденной составляющей тока замыкания через нуль. В третьей теории (теория Белякова) считается, что дуга может погаснуть как при первом прохождении тока замыкания через нуль, так и при любом последующем замыкании. Различные моменты погасания дуги обуславливают различные напряжения на нейтрали к моменту очередного её зажигания.

В конечном итоге, значение перенапряжений зависит от остаточного напряжения на нейтрали и от пробивного напряжения в момент очередного зажигания дуги в процессе перемежающегося замыкания. Общим для всех теорий является предположение о том, что электрическая прочность дугового промежутка (пробивное напряжение) к моменту каждого очередного пробоя равна максимальному значению восстанавливающегося напряжения на поврежденной фазе.

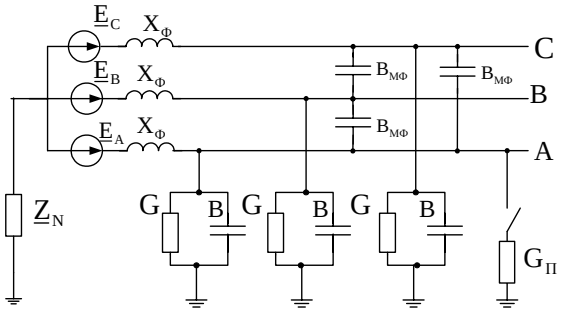


Рис. 1. Схема замещения сети

В данной работе представляется математическая модель формирования перенапряжений, разработанная с помощью программы Mathcad 2003, на основании теоретических положений указанных выше теорий. Для упрощения анализа переходного процесса при разработке математической модели были сделаны следующие допущения:

- схема симметрична;
- продольные сопротивления сети приняты равными нулю;
- распределенные емкости и активные проводимости фаз относительно земли заменены сосредоточенными параметрами;
- до момента зажигания дуги напряжения на фазах приняты равными ЭДС источника;
- постоянная времени переходного процесса разряда емкости поврежденной фазы C_A весьма мала и поэтому напряжение на этой фазе в момент замыкания снижается до нуля практически мгновенно.

Трехфазная схема замещения сети представлена на рис. 1, где $G, B, B_{МФ}, X_Ф$ – соответственно активные проводимости, емкостные проводимости фаз, междуфазные емкостные проводимости, индуктвные сопротивления фаз сети; $G_П$ – переходная проводимость в месте замыкания, $\underline{Z}_N$ – комплексное сопротивление в нейтрали.

Данная математическая модель позволяет получать кривые напряжений на поврежденной и неповрежденных фазах, напряжения на нейтрали тока замыкания при любом режиме заземления нейтрали, а также моделировать различные условия горения дуги (момент погасания, пробивное напряжение) при однофазных замыканиях.

На рис. 2–5 представлены кривые напряжений на нейтрали и на неповрежденной фазе при зажигании и погасании дуги в сети с изолированной и резистивно-заземленной нейтралью.

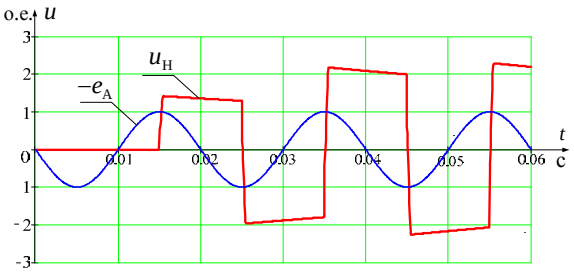


Рис. 2. Напряжение на нейтрали u_N в сетях с изолированной нейтралью

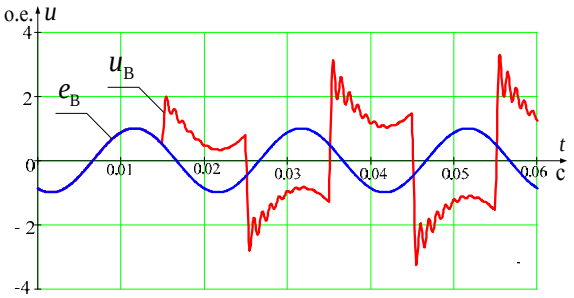


Рис. 3. Напряжение на неповрежденной фазе u_B в сети с изолированной нейтралью

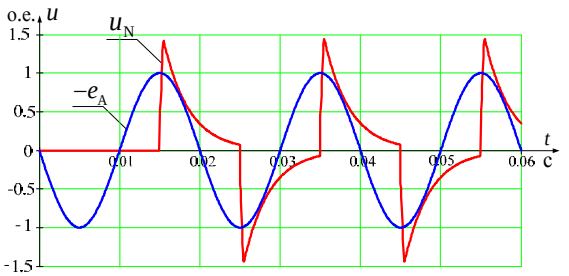


Рис. 4. Напряжение на нейтрали u_N в сети с резистивно-заземленной нейтралью

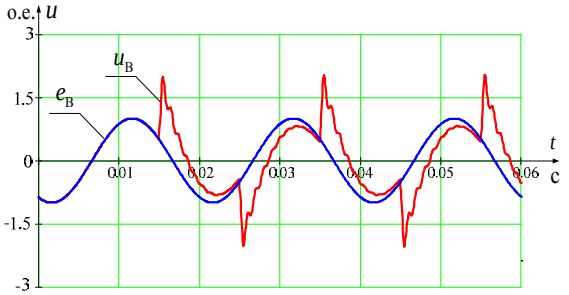


Рис. 5. Напряжение на неповрежденной фазе u_B в сети с резистивно-заземленной нейтралью

При расчетах было принято:

• дуга загорается при максимальном значении напряжения – U_m.

• погасание дуги происходит при первом прохождении тока замыкания через нуль,

• частота свободных колебаний 100 Гц,

• коэффициент демпфирования для сети с изолированной нейтралью 3%,

• сопротивление резистора для сети с резистивно-заземленной нейтралью равно суммарному емкостному сопротивлению сети.

Как видно (рис. 2, 3), при изолированной нейтрали на неповрежденных фазах от пробоя к пробою увеличивается напряжение. В рассматриваемом примере уже к третьему пробою перенапряжение в момент зажигания дуги достигло почти $3U_ф$.

Перенапряжения объясняются тем, что при изолированной нейтрали при однофазном замыкании от пробоя к пробою накапливается заряд на емкостях фаз присоединений. Пути для стекания заряда в таких сетях нет. Небольшое уменьшение заряда (напряжения) в бестоковую паузу происходит за счет несовершенства изоляции и в модели учтено с помощью коэффициента демпфирования (3%).

В сети с резистивно-заземленной нейтралью полное заряды в бестоковую паузу (половина периода промышленной частоты) стекают полностью, если сопротивление резистора примерно равно суммарному емкостному сопротивлению сети. Благодаря этому перенапряжения на неповрежденных фазах не превышают значения линейного напряжения $1{,}73U_ф$ (рис. 5).

В настоящее время рекомендуется в электроустановках 6 ÷ 35 кВ переходить от режима изолированной нейтрали к режиму с компенсацией емкостных токов или к резистивно-заземленной нейтрали. Одна из причин, обуславливающих такую необходимость – опасность перенапряжений для современного оборудования, в частности, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Модель может быть использована в качестве учебного пособия при изучении режимов заземления нейтрали студентами различных электроэнергетических специальностей.

Список литературы

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.
2. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1968. – 415 с.
3. Черногубовский З.П. Заземление нейтрали электрических систем высокого напряжения. – Л., 1934. – 201 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Танфильева Д.В.

Научный руководитель: Левин В.М., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: darykuzmina@yandex.ru

Введение

С каждым годом увеличивается парк трансформаторов, с выработанным сроком службы, при этом доля вводимого оборудования остается на низком уровне по сравнению с темпами и масштабами старения. При достаточно нестабильной экономической ситуации в стране сетевые компании реализуют переход к стратегии технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) оборудования по фактическому состоянию с внедрением систем диагностики и мониторинга.

Эксплуатационная надежность силовых трансформаторов поддерживается с помощью профилактических ремонтов, устраняющих дефекты, либо аварийных – вызванных случайными отказами. Частота проведения профилактических ремонтов жестко коррелированна с частотой выявления в результате диагностирования развивающихся дефектов трансформаторов. Снижение частоты диагностирования может привести к отказу оборудования, что необоснованно увеличивает эксплуатационные затраты ПЭС.

Поэтому, актуальной задачей при проведении мероприятий ТОиР является определение оптимальной периодичности диагностирования, с учетом факторов эксплуатационной надежности и экономичности.

Математическая модель ТОиР

В работе представлен подход, с помощью аппарата полумарковских процессов [1, 2], к определению периодичности диагностирования, а, следовательно, и профилактического ремонта с учетом изменения показателей эксплуатационной надежности и экономичности.

Достоинство данного аппарата заключается в том, что время пребывания трансформатора τ_i, в процессе эксплуатации, в *i*-м состоянии может иметь произвольные функции распределения, а не подчиняться только экспоненциальному закону распределения. Данное свойство хорошо согласуется с процессом эксплуатации трансформатора, выработавшего нормативный срок службы и имеющего возрастающую частоту отказов.

На рис. 1 представлен граф состояний, описывающий процесс эксплуатации трансформатора, с помощью системы ТОиР по фактическому состоянию.

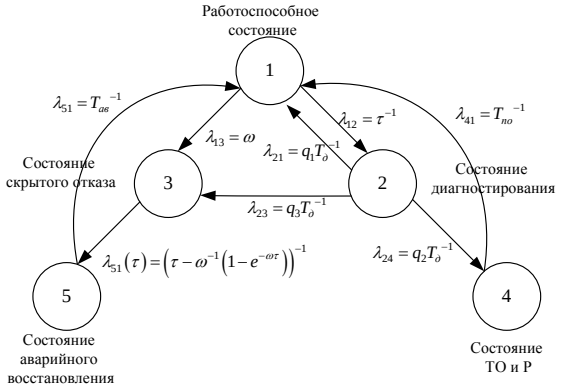


Рис. 1. Граф состояний трансформатора

Матрица переходных вероятностей $\|\rho_{ij}\|$, описывающая граф состояний:

$$\rho_{12} = \frac{\tau^{-1}}{\omega + \tau^{-1}};\ \rho_{13} = \frac{\omega}{\omega + \tau^{-1}};\ \rho_{21} = q_1;\ \rho_{24} = q_2;$$
$$\rho_{23} = q_3;\ \rho_{35} = \rho_{41} = \rho_{51} = 1.$$

Стационарные вероятности $\pi_i, (i = 1 \ldots 5)$ полумарковской цепи будут определяться согласно системе уравнений:

$$\begin{cases} \pi_2 = \rho_{12}\pi_1 \\ \pi_3 = \rho_{13}\pi_1 + \rho_{23}\pi_2 \\ \pi_4 = \rho_{24}\pi_2 \\ \pi_5 = \rho_{35}\pi_3 \\ \sum_i \pi_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Работа системы диагностирования трансформаторов моделируется с помощью вероятностей обнаружения, возникновения и развития дефектов до отказа [2]:

$$q_1(\tau) = exp[-\tau\omega_\partial],$$

$$q_2(\tau) = \frac{\omega^{-1}}{\omega^{-1} - \omega_\partial^{-1}} \cdot [exp(-\tau\omega) - exp(\tau\omega_\partial)],$$

$$q_3(\tau) = 1 - \frac{\omega^{-1} exp(-\tau\omega) - \omega_\partial^{-1} exp(\tau\omega_\partial)}{\omega^{-1} - \omega_\partial^{-1}},$$

где ω – средняя частота отказов, ω_∂ – средняя частота обнаружения дефектов.

Решение системы уравнений (1) позволяет оценить периодичность диагностирования τ в зависимости от вероятности работоспособного со-

стояния, наработку на аварийные отказы $\overline{T}_H$, наработку на профилактический ремонт $\overline{T}_B$, которые определяются следующим образом:

$$\overline{T}_H = \frac{\tau + T_\partial + q_2(\tau)T_{no} + \left(\tau - \omega^{-1}\left(1 - e^{-\omega\tau}\right)\right)}{\omega\tau + q_3(\tau)};$$

$$\overline{T}_B = \frac{\tau + T_\partial + (\omega\tau + q_3(\tau))\left(\tau - \omega^{-1}\left(1 - e^{-\omega\tau}\right) + T_{AB}\right)}{q_2(\tau)T_{no}}.$$

Частоты аварийных отказов и профилактических восстановлений можно вычислить как:

$$\overline{\omega}_H(\tau) = \left[\overline{T}_H(\tau) + \overline{T}_{AB}\right]^{-1}, \overline{\omega}_B(\tau) = \left[\overline{T}_B(\tau) + \overline{T}_{ПО}\right]^{-1}.$$

Критерием для определения оптимальной периодичности диагностирования является минимум суммарных эксплуатационных затрат ПЭС $З_\Sigma$ на интервале времени средней наработки

$$\min З_\Sigma = З_\Sigma(\tau_{опт}). \qquad (2)$$

Они включают затраты на проведение аварийных и профилактических ремонтов трансформатора

$$З_\Sigma(\tau_{опт}) = з_{АВ}\overline{\omega}_H(\tau)\overline{T}_H(\tau) + з_{ПРОФ}\overline{\omega}_B(\tau)\overline{T}_B(\tau).$$

Здесь: $з_{АВ}$, $з_{ПРОФ}$ – стоимости аварийного и профилактического ремонтов соответственно.

Для проверки адекватности модели приняты следующие данные: время простоя в профилактическом и аварийном ремонтах соответственно – 48 и 300 часов, продолжительность диагностирования – 8 часов.

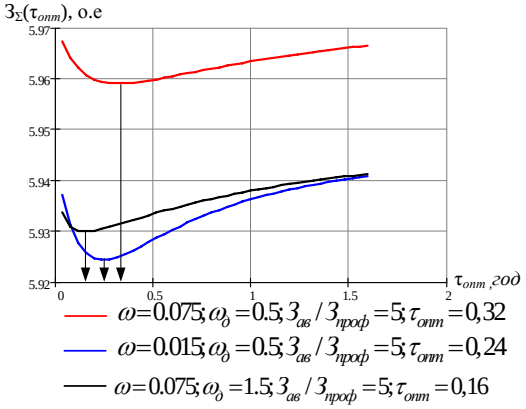


Рис 2. Определение оптимальной периодичности диагностирования при минимальных затратах

Из приведенных выше зависимостей (рис. 2) видно, что предложенная модель позволяет получить оптимальную периодичность диагностирования при минимуме затрат, с учетом различных частот появления дефектов и отказов.

Исследование влияния ω, ω_∂ (рис. 3) показывает, что при увеличении частоты дефектов и отказов, оптимальная периодичность диагностирования уменьшается, т. е. количество профилактических ремонтов, проводимых после обследования возрастает, что приводит к экономии затрат на аварийные восстановления.

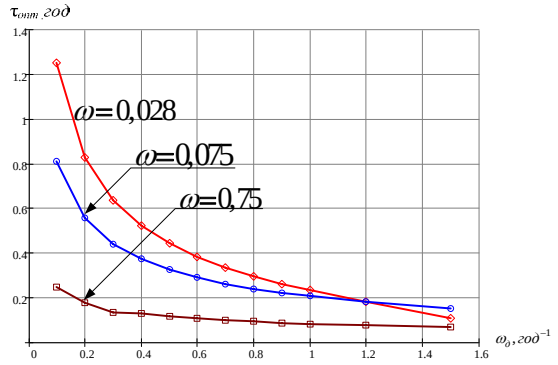


Рис. 3. Оптимальная периодичность диагностирования при различных частотах отказа и частотах обнаружения дефектов

Выводы

Предложенная модель ТОиР трансформаторов, на основе полумарковских процессов, позволяет учитывать эксплуатационные показатели надежности, вероятности развития дефектов, определяемые с помощью диагностического контроля и два вида ремонтных воздействий, направленных на устранение дефектов и внезапных отказов. Поскольку количество профилактических и аварийных ремонтов напрямую зависит от периодичности диагностирования, то минимизация целевой функции (суммарных эксплуатационных затрат) позволяет получить оптимальный период между очередными диагностическими контролями (профилактиками). Полученные результаты подтверждают адекватность разработанной модели.

Список литературы

1. Беляев Ю.К. Надежность технических систем: справочник / под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 607 с.
2. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988.–392 с.
3. Надежность электроэнергетических систем: справочник / под ред. М.Н. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Танфильев О.В., Глазырин В.Е.

Научный руководитель: Глазырин В.Е.., к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: tanfiliev@ngs.ru

Введение

Выявление асинхронного режима (АР) устройствами, работающими на принципе измерения сопротивления $Z_р$ и скорости его изменения $\frac{dZ_p}{dt}$, базируется на основе оценки на каждом шаге дискретизации положения вектора сопротивления относительно зон действия измерительных органов, которыми являются: орган направления мощности (ОНМ), грубый дистанционный орган (ГО) и чувствительный дистанционный орган (ЧО) [1,2]. Опыт эксплуатации подобных типовых устройств показывает, что во многих случаях не удовлетворяются предъявляемые к ним требования[3]. Одна из причин связана с тем, что реализация логических алгоритмов совместной работы трех измерительных органов с учетом временных функций очень громоздка и требует больших аппаратных затрат, что существенно снижает надежность устройства.

Преодоление этих недостатков требует новых алгоритмических подходов, реализация которых возможна с применением прогрессивных способов параллельной обработки информации. Одним из направлений, занимающимся обработкой информации, является «теория распознавания образов». Параллельная обработка информации методами распознавания образов позволяет записать ранее используемые признаки идентификации режимов в очень простой и наглядной форме, что значительно облегчает их обнаружение, а также позволяет выявить новые признаки.

Вероятностный подход, предложенный в [4] для выявления анормальных режимов генераторов является достаточно сложным для реализации и требует множества вычислений. Поэтому для построения системы распознавания АР предлагается использовать структурный подход[5]. В качестве исходной информации для системы распознавания предлагается использовать данные о положении вектора сопротивления относительно зон действия измерительных органов автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР).

Выявление АР

Выявление асинхронного режима осуществляется путем анализа очередности прохождения вектора $\underline{Z_P}$ через области в комплексной плоскости, на которые ее разделяют границы зон действия измерительных органов. На рис. 1 показаны эти области.

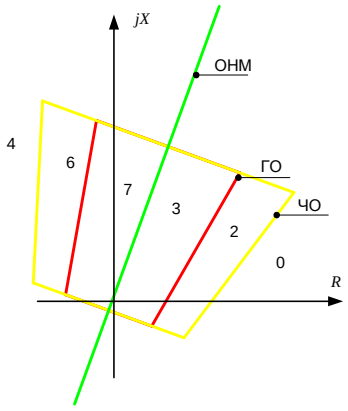


Рис. 1. Зоны действия измерительных органов

Приведенные на рисунке номера областей соответствуют кодам, составленным из дискретных сигналов, каждый из которых характеризует состояние соответствующего органа (см. табл. 1).

Таблица 1

Таблица соответствия между кодами областей и состояниями измерительных органов

Обл.	ОНМ	ЧО	ГО	Действие АЛАР
0	не сраб.	не сраб.	не сраб.	
1	не сраб.	не сраб.	сраб.	**Невозможно**
2	не сраб.	сраб.	не сраб.	
3	не сраб.	сраб.	сраб.	
4	сраб.	не сраб.	не сраб.	
5	сраб.	не сраб.	сраб.	**Невозможно**
6	сраб.	сраб.	не сраб.	
7	сраб.	сраб.	сраб.	

Нормальному режиму работы электрической системы соответствует положение вектора $\underline{Z_P}$ в областях «0» или «4» в зависимости от направления передаваемой мощности по контролируемой связи. При нахождении $\underline{Z_P}$ в области «0» и возникновении АР, этот вектор перемещается по траектории, которая сначала попадает в область «2» (срабатывает ЧО), затем переходит в область «3» (срабатывает ГО), а затем попадает в область «7» (срабатывает ОНМ). Такое развитие событий со-

ответствует срабатыванию АЛАР на первом цикле. При этом очередность прохождения областей комплексной плоскости соответствует ускорению системы, находящейся «за спиной» АЛАР.

При нахождении $\underline{Z_P}$ в области «4» и возникновении АР, этот вектор начинает перемещаться по траектории, которая сначала попадает в область «6» (срабатывает ЧО), затем переходит в область «7» (срабатывает ГО), а затем

попадает в область «3» (возврат ОНМ). Такое развитее событий также соответствует срабатыванию АЛАР на первом цикле, но при этом очередность прохождения областей комплексной плоскости соответствует торможению системы, находящейся «за спиной».

Если АР продолжается более одного цикла, то при каждом переходе $\underline{Z_P}$ через характеристику срабатывания ОНМ вне зоны действия ЧО фиксируется завершение очередного полного цикла АР. По превышению заданного числа циклов формируется выходной сигнал «Срабатывание 2-й ступени». Для необходимости согласования с комплектами АЛАР на смежных линиях аналогичным образом может быть реализована третья ступень с большим числом циклов срабатывания.

Отстройка от синхронных качаний

Режим синхронных качаний отличается от АР тем, что имеет место изменение направления движения вектора $\underline{Z_P}$. Благодаря этому наблюдается изменение очередности прохождения областей, показанных на рис. 1.

При неглубоких качаниях вектор $\underline{Z_P}$ либо перемещается в одной из областей «0» или «4» , либо осуществляет периодические переходы между этими областями вне зоны действия ЧО. В этом случае режим синхронных качаний выявляется по превышению максимально возможной длительности АР.

При глубоких качаниях вектор $\underline{Z_P}$ может заходить из области «0» в область «2» , а затем снова возвращаться в область «0» . В этом случае возможно также попадание вектора в область «3» с последующим возвратом в «2» и далее в «0» . Возможны заходы вектора $\underline{Z_P}$ из области «4» в область «6» с последующим возвратом в область «4». При более глубоких качаниях возможно попадание вектора в область «7» с последующим возвратом в «6» и далее в «4» .

Во всех случаях возникновения синхронных качаний они надежно выявляются или по длительности нахождения вектора $\underline{Z_P}$ в одной области, или по очередности нахождения его в различных областях. При выявлении любого из признаков синхронных качаний выходные реле АЛАР возвращаются в исходное положение, и сбрасывается счетчик циклов АР.

Отстройка от коротких замыканий

Для отстройки от коротких замыканий используются признаки, которые имеют место при коротких замыканиях, а при АР отсутствуют.

По своей физической сути АР является симметричным режимом, начинающимся с плавного прохождения вектором $\underline{Z_P}$ областей, определяемых зонами действия измерительных органов.

При симметричных коротких замыканиях вектор $\underline{Z_P}$ скачком попадает в зону действия ГО. Поскольку при этом необходимая последовательность прохождения областей «0»–»2»–»3»–»7» или «4»–»6»–»7»–»3» не выполняется, действие первой ступени АЛАР не происходит.

При несимметричных коротких замыканиях, сопровождающихся появлением токов и напряжений обратной последовательности, при выявлении уровня сигналов обратной последовательности, превышающих заданные уставки, работа АЛАР (для симметричных режимов) блокируется, а все ее элементы переводятся в исходное положение.

Выводы

Использование для выявления АР методов «Теории распознавания образов», позволяет значительно упростить алгоритм выявления АР, делает его более пригодным для анализа и реализации, что дает возможность:

• надежно выявлять внешние и внутренние асинхронные хода;

• отстраиваться от глубоких синхронных качаний (до 180º) и КЗ.

Список использованных источников

1. Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.: ил.
2. Степанов В.Г., Арсентьев А.П., Маренич В.Л., Нудельман Г.С., Капустин В.И. Испытания алгоритма автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР) на базе IED 670 // Энергетик, 2007, №11.
3. СТО 59012820.29.240.008. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования.
4. Таджибаев А.И. Автоматизированные системы распознавания состояний электроустановок. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 2001. – 176 с.: ил.
5. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания: Учеб. Пособие для вуз. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш шк., 1989. – 232 с.

ОПТОВЫЙ РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РФ. ПРОБЛЕМЫ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Таран А.С.

Научный руководитель: Филиппова Т.А., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет,
E-mail: deltaway@yandex.ru

За последние годы в электроэнергетике России произошли радикальные преобразования – был создан конкурентный рынок электроэнергии, цены которого не регулируются государством, а формируются на основе спроса и предложения, а его участники конкурируют между собой.

Введение рыночных механизмов привело к изменению принципов управления режимами. Теперь оно осуществляется с помощью адресованных генераторам и потребителям ценовых сигналов, формирующихся в рамках рынка. Произошло кардинальное изменение системы диспетчирования с заменой существовавших деловых процессов, традиционных технологий управления режимами и соответствующего методического обеспечения и инструментария.

Модель формирования режимов на оптовом рынке конечно предусматривает в качестве целевой функции оптимизацию режимов по критерию минимальных затрат для потребителя, но модель управления имеет ряд особенностей и ограничений, которые могут негативно сказываться как на работе генерирующих компаний, так и потребителей электроэнергии.

Свободная цена на электроэнергию на оптовом рынке определяется в результате соотношения спроса (электропотребления потребителей) и предложения (ценовых заявок генерирующих компаний). На оптовом рынке электроэнергии действует маржинальная система ценообразования, то есть ценовая заявка на продажу электроэнергии самой дорогой востребованной электростанции (для покрытия нагрузки) формирует цену на электроэнергию в узле расчетной модели, для расчетов используются более 6000 узлов, соответствующих узлам в электрической схеме ЕЭС.

В соответствии с правилами оптового рынка, в первую очередь на оптовом рынке принимается объем производства электрической энергии, заявленный организациями – владельцами генерирующих мощностей в отношении:

• генерирующих мощностей, обеспечивающих системную надежность;

• атомных электростанций в части обеспечения требований проекта, технологического регламента эксплуатации атомных электростанций и иных нормативных правовых актов Российской Федерации об использовании атомной энергии, а также соответствующих международных норм и правил.

Во вторую очередь на оптовом рынке принимается объем производства электрической энергии, заявленный организациями – владельцами генерирующих мощностей в отношении:

• тепловых электростанций в объеме производства электрической энергии, соответствующем их работе в теплофикационном режиме;

• гидроэлектростанций в объеме производства электрической энергии, который необходимо произвести по технологическим причинам и в целях обеспечения экологической безопасности.

В случае, если исполнение обязательств, установленных по результатам торгов на оптовом рынке, в том числе вследствие подачи или неподачи субъектами оптового рынка ценопринимающих заявок, влечет за собой угрозу надежности функционирования Единой энергетической системы России, невозможность обеспечения теплофикационных режимов или нарушение иных технологических параметров функционирования Единой энергетической системы России, системный оператор осуществляет оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике режимами работы без учета результатов таких торгов.

По результатам работы оптового рынка электроэнергии в РФ в течение трех лет можно заключить следующее:

во-первых, в РФ создан конкурентный рынок электроэнергии, загрузка/разгрузка электростанций производится по результатам расчета оптимизационных моделей на основе ценовых заявок участников. Формирующиеся цены на рынке на сутки вперед и на балансирующем рынке действительно отражают суточную неравномерность графика нагрузки, а так же всплески потребления, связанные, например, с колебаниями температуры наружного воздуха. Цены, отражающие суточную неравномерность графиков электропотребления, должны, по-хорошему, стимулировать с одной стороны потребителя перераспределять часть нагрузки на ночные часы с дешевой электроэнергией, производителей же такое соотношение должно стимулировать к снижению технологических минимумов в отопительный период, в частности за счет ввода дополнительной тепловой мощности (пиковые водогрейные котлы), что в целом может позитивно сказываться на надежности и управляемости энергетической системы.

Но, не смотря на то, что конкурентные отборы проходят в строгом соответствии с математическими моделями, являющимися неотъемлемой частью Регламентов оптового рынка, некоторые процессы, например выбор состава работающего

оборудования, определение объема резервов еще недостаточно зарегламентированы и формализованы, что позволяет Системному оператору при реализации данных процессов значительно влиять на результаты работы генерирующих компаний и потребителей, и при этом рыночному сообществу данные действия Системного оператора достаточно сложно проконтролировать и проверить.

Во-вторых, конкурентный рынок электроэнергии нацелен на подачу правильных ценовых сигналов и потребителям и производителям, и в его основе лежит правильные целевые функции. Но при этом рынок имеет все признаки олигополии, при которых управление должно строиться на других принципах.

В-четвертых, не решена проблема вынужденной работы ТЭЦ на технологическом минимуме (например, для обеспечения потребителя тепловой энергией), в определенные периоды это может привести к тому, что работа ТЭЦ станет просто невыгодной, и приоритеты сместятся в сторону раздельного производства тепла и электроэнергии.

В связи с вышеизложенным, можно заключить следующее: на сегодняшний день в РФ создан и работает конкурентный рынок электроэнергии, есть как его очевидные достоинства, так и недостатки, создана база для дальнейшего совершенствования механизмов работы энергорынка. Для обеспечения долгосрочной выгоды потребителей и производителей электроэнергии необходима масштабная доработка правил и регламентов работы энергорынка.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тимофеев М.Н.

Научный руководитель: Томашевский Ю.Б., д.т.н., профессор

ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет»
410054, Саратов, улица Политехническая, 77
E-mail: rendom@sstu.ru

Современная ситуация в мировом хозяйстве характеризуется массовым сжиганием органического топлива в ускоренных темпах. Напротив, процесс осознания факта истощения его мировых ресурсов и необходимости создания новой мировой энергетической стратегии заметно отстает. Подобная ситуация выводит проблему использования возобновляемых источников энергии в разряд ключевых.

Перспективы использования автономных ветроэнергетических установок (ВЭУ) в России велики. Наша страна обладает мощным ветроэнергетическим потенциалом, оцениваемым в 40 млрд кВт.ч электроэнергии в год. При этом ВЭП России и энергетическая эффективность ВЭС позволяют сегодня получать с помощью ВЭС электроэнергию с себестоимостью **ниже € 4,0–5,5 центов/кВт•ч. (по проведённым исследованиям)**

Для Саратовской области, большую часть которой составляют степные районы, перспективными является использование ветроэнергетических установок (ВЭУ). Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью, так в конце 2009г. общая установленная мощность всех ветрогенераторов, используемых в мире, увеличилась в шесть раз по сравнению с 2000г. [1]. Современные технологии позволили обеспечить себестоимость энергии – 3,5–3,8 цента за 1 кВт. ч. В последнее время из-за роста цен на природный газ и уголь стоимость ветряного электричества стала ниже стоимости электроэнергии, произведённой из традиционных источников. Это делает ветроресурсы вполне конкурентоспособными.

Наиболее перспективными для расположения ветропарков в Саратовской области являются Ершовский и Александро-Гайские районы (рис. 1) (берега рек Малая Узень и Большая Узень), что позволит обеспечить электроэнергией погранзаставы, метеорологические станции, радиолокационные посты систем управления воздушного движения, отдалённые населённые пункты.

Их выбор обусловлен следующими факторами:

1) малая длительность «энергетических» затиший;

2) длительный диапазон «энергоактивных» (рабочих) скоростей;

3) отсутствие ураганов;

4) малая изменчивость скорости ветра во времени.

Приведенные факторы уменьшают неравномерность выработки ветроэлектростанции, свойственной ветроэнергетике в целом. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности нагрузки (пики и провалы энергопотребления), регулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему может приводить к её дестабилизации. Понятно, что в этом случае требуется резерв мощности в энергосистеме, а также механизмы сглаживания неоднородности их выработки (в виде ГЭС). Эта проблема может быть решена за счет Саратовской ГЭС.

Проблемы в сетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ветрогенераторов начинаются после достижения ими доли в 20–25 % от общей установленной мощности системы. Помочь сгладить проблему неравномерности может повышение точности прогнозов выдачи энергии ветростанций при почасовом планировании на рынке «на день вперед» или спотовом режиме.

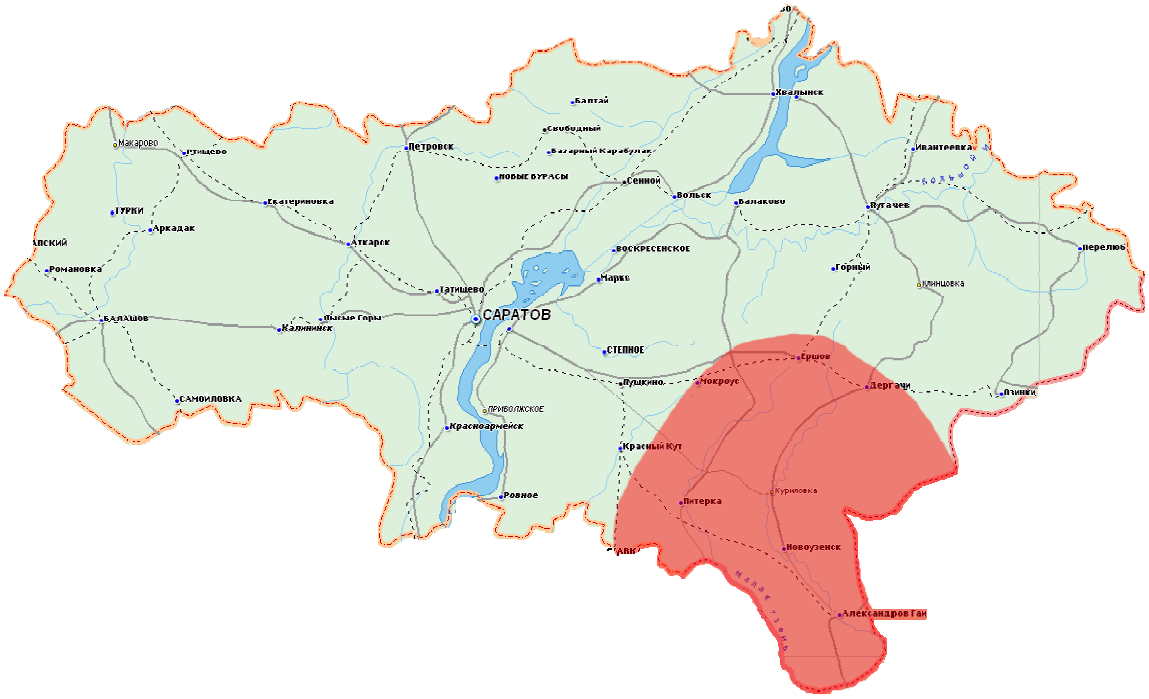


Рис. 1. Перспективный район размещения ветропарков

Небольшие единичные ветроустановки могут иметь проблемы с сетевой инфраструктурой, поскольку стоимость линии электропередач и распределительного устройства для подключения к энергосистеме могут оказаться слишком большими. Проблема частично решается, если ветроустановка подключается к местной сети. В этом случае используется существующее силовое и распределительное оборудование, а ВЭС создаёт некоторый подпор мощности, снижая мощность, потребляемую местной сетью извне. Трансформаторная подстанция и внешняя линия электропередач оказываются менее нагруженными, хотя общее потребление мощности может быть выше.

Рассмотрен вопрос выбора ВЭУ для реализации будущего размещения в Саратовской области: ВЭУ типа АВЭУ-30 (Лианозовский электромеханический завод), будет производить 51 Мвт/ч в год или 720 Мвт/ч при использовании SWT-3.6-107 Wind Turbine (Siemens). [2].

Ускорение процесса внедрения ВЭУ базируется на совершенствовании процесса их проектирования, который, прежде всего, должен базироваться на системном подходе. В этом случае рассматриваются все этапы жизненного цикла ВЭУ – определения места расположения установок, их типономиналов и количества до конструктивно законченной стойки.

В качестве основополагающего метода проектирования может быть рекомендован модульный принцип, с одной стороны, ускоряющий процесс, а с другой, – повышающий качество решений за счет использования математического моделирования как самих модулей, так и структур на их основе.

Немецкие разработчики, стремясь поднять мощность ВЭУ, пошли по пути увеличения размеров традиционных пропеллерных установок (их последние модели, оснащенные многотонным трехлопастным ротором диаметром более 80 м, дают мощность до3,6 МВт). Мы пришли к выводу перспективности подобного подхода для нашей области

В настоящее время решаются задачи:

• моделирование функционирования ветропарков на период до 2030г. на основании многолетних наблюдений;

• создания многомодульных комплексов ВЭУ в плане как отдельных установок, так и ветропарков в целом, а именно:

• оптимальное распределение нагрузки между ВЭУ;

• организация энергопотоков с существующей энергосистемой.

Список литературы

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/ветроэнергетика
2. РД 52.04.275-89. Методические указания проведения изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок. Введён 16.08.90 г. –34 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Ткаченко С.Н., Семенихин М.В.

НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2А
E-mail: tkasergey@yandex.ru

Поливинилиденфторид (ПВДФ) является одним из наиболее перспективных полимеров, обладающих сегнетоэлектрическими и пьезоэлектрическими свойствами. Данный материал отличается высокими кристалличностью, прочностью, твердостью, жесткостью, стойкостью к истиранию и радиации [1, 2].

Известны четыре кристаллические формы ПВДФ, обозначаемые α, β, γ и δ [2, 3]. Из указанных форм наиболее часто встречаются первые две. Сегнетоэлектрические свойства ПВДФ обусловлены наличием β-фазы, поэтому получение пленок данного полимера с высоким содержанием кристаллитов β-формы является актуальной задачей.

Пленки ПВДФ получают либо из расплава, либо из раствора полимера в полярном растворителе. В имеющейся на сегодняшний день литературе приведены весьма противоречивые сведения о наличии тех или иных кристаллических фаз в подобных пленках. При кристаллизации из расплава в отсутствии внешних воздействий получаются пленки с двумя типами кристаллитов – α и γ-формы [4]. При кристаллизации из раствора ПВДВ в полярном растворителе (как правило, N,N-диметилформамиде) получаются пленки с большим содержанием β-фазы [5, 6] или пленки, содержащие α, β, γ-фазы [7, 8] или с преимущественным содержанием γ-фазы [9].

Таким образом, целью данной работы являлось исследование молекулярной структуры пленок ПВДФ, полученных различными способами.

В качестве сырья был использован порошкообразный фторопласт-2М марки «В» ОАО «Пластполимер» г. Санкт-Петербург. Диаметр частиц порошка составлял от 20 до 200 мкм, при среднем значении – 50 мкм. Пленки ПВДФ были получены по четырем различным режимам (см. таб. 1).

В качестве растворителя был использован N,N-диметилформамид (ДМФА). Кристаллизация из раствора проводилась в изотермических условиях, при температуре 110°С. В качестве подложки использовалось кварцевое стекло.

Кристаллизация из расплава была выполнена при температуре 190°С в специальных пресс-формах. Точность поддержания температуры в печи в обоих случаях – ±2 градуса.

Для анализа молекулярной структуры исследуемых пленок был использован метод инфракрасной спектроскопии. Инфракрасные спектры (ИК-спектры) пленок толщиной 30±1 мкм, были получены на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 (разрешение 0,09 $см^{-1}$, отношение сигнал-шум не хуже 40000:1 (пик к пику при 1 минуте сканирования), точность по волновому числу 0,01 $см^{-1}$). Пропускание измерялось в диапазоне волновых чисел от 400 до 4000 $см^{-1}$ с шагом 4 $см^{-1}$. На каждом образце выполнялось 100 сканов.

Таблица 1

Режимы изготовления образцов

Обозначение	Режим
A	Пленка получена из раствора при Т = 110°С (растворялся порошок ПВДФ)
B	Пленка получена из расплава при Т = 190°С (сырье для образца – порошок ПВДФ)
C	Пленка получена из раствора при Т = 110°С (растворялась пленка ПВДФ, полученная по режиму В)
D	Пленка получена из расплава при Т = 190°С (сырье для образца – пленка ПВДФ, полученная по режиму А)

На рис. 1 представлены ИК-спектры исследуемых пленок в диапазоне волновых чисел 400–1000 $см^{-1}$.

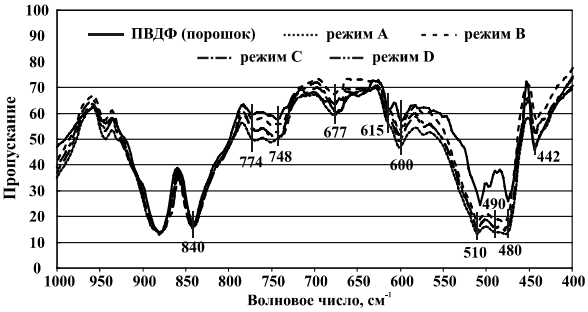


Рис. 1. ИК-спектры исходного порошка и пленок ПВДФ, изготовленных по различным режимам

Различные кристаллические фазы ПВДФ имеют свои характеристические полосы на ИК-спектрах. Для α-фазы: 490, 615 и 763 $см^{-1}$ [10] или по другому источнику: 531, 612, 766, 795, 855 и 976 $см^{-1}$ [11]. Для β-фазы: 600, 745 и 840 $см^{-1}$ [10] или по другому источнику: 470, 511 и 840 $см^{-1}$ [11]. Полоса 677 $см^{-1}$ связана с дефектами голова-к-голове и хвост-к-хвосту. Характеристическая полоса для γ-фазы – 430 $см^{-1}$ [11].

Как видно из рис. 1, на ИК-спектрах всех исследованных пленок присутствуют полосы характерные как для α (490, 615 и 774 $см^{-1}$), так и для β-фазы (480, 510, 600, 748 и 840 $см^{-1}$) ПВДФ. Кроме указанных полос, на ИК-спектрах присутствует полоса при 442 $см^{-1}$, которую можно отнести к γ-фазе [11]. Следовательно, в нашем случае режим изготовления не повлиял на наличие/отсутствие какой-либо кристаллической фазы ПВДФ.

Для объяснения полученного результата был снят ИК-спектр исходного порошка в том виде, в каком он поставляется производителем (сплошная кривая на рис. 1). Видно, что ИК-спектры исследуемых пленок повторяют ИК-спектр порошка ПВДФ, из которого они изготавливались. При этом, молекулярная структура пленок не меняется даже при вторичной переработке (режимы C и D).

Режим переработки влияет лишь на наличие дефектных C=C связей (см. рис. 2).

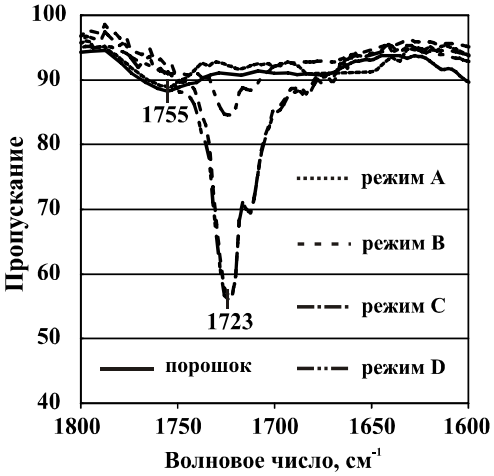


Рис. 2. ИК-спектры исходного порошка и пленок ПВДФ, изготовленных по различным режимам в диапазоне волновых чисел 1600–1800 см$^{-1}$.

Как видно из рис. 2, для ИК-спектров пленок, изготовленных по режимам B и D, характерно наличие полосы 1723 см$^{-1}$, которая отсутствует в спектре исходного порошка и остальных пленок. Данная полоса является перекрытием полос, связанных с колебаниями изолированных и сопряженных C=C связей [12]. Появление данных связей обусловлено термодеструкцией полимера.

Таким образом, молекулярная структура пленок ПВДФ, скорее всего, определяется структурой исходного порошка или гранул.

Работа была выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» по гос. контракту № П407 от 31.07.2009.

Список литературы

1. Энциклопедия полимеров / под ред. В.А. Каргина и др. – М.: Сов. энциклопедия. – 1972. – Т. 1.
2. Шермергор Т. Д., Стрельцова Н.Н. Пленочные пьезоэлектрики. – М.: Радио и связь, 1986. – 136 с.
3. Pinheiro L.M.P., Chaud M.R., Nascente P.A.P., Gregorio Jr. R. Morphology of PVDF, P(VDF-TrFE) Copolymers, and PVDF/P(VDF-TrFE) Blends // ACTA MICROSCOPIA – 2003. – V. 12. – № 1. – P. 125–129.
4. Lovinger A.J. Crystallization and Morphology of Melt-Solidified Poly(vinylidene fluoride) // Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition – 1979. – V. 18. – № 4. – P. 793–809.
5. Ma W., Zhang J., Chen S., Wang X. Crystalline Phase Formation of Poly(vinylidene fluoride) from Tetrahydrofuran/N,N-dimethylformamide Mixed Solutions // Journal of Macromolecular Science, Part B – 2006. – V. 47. – № 3. – P. 434–449.
6. Sencadas V., Filho R.G., Lanceros-Mendez S. Processing and Characterization of a Novel Nonporous Poly(vinilidene fluoride) Films in the β Phase // Journal of Non-Crystalline Solids – 2008. – V. 352. – № 21–22. – P. 2226–2229.
7. Gregorio Jr. R., Cestari M. Effect of Crystallization Temperature on the Crystalline Phase Content and Morphology of Poly(vinylidene fluoride) // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics – 1994. – V. 32. – № 5. – P. 859–870.
8. Salimi A., Yousefi A.A. Conformational Changes and Phase Transformation Mechanisms in PVDF Solution-Cast Films // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics – 2004. – V. 42. – № 18. – P. 3487–3495.
9. Park Y.J., Kang Y.S., Park C. Micropatterning of Semicrystalline Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Solutions // European Polymer Journal – 2005. – V. 41. – № 5. – P. 1002–1012.
10. Sencadas V., Costa C.M., Moreira V., Monteiro J., Mendiratta S.K., Mano J.F., Lanceros-Mendez S. Poling of β-poly(vinilidene fluoride): Dielectric and IR Spectroscopy Studies // e-Polymers – 2005. – № 002. – P. 1–12.
11. Kim J.W., Cho W.J., Ha C.S. Morphology, Crystalline Structure and Properties of Poly(vinilidene fluoride)/Silica Hybrid Composites // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics – 2002. – V. 40. – № 1. – P. 19–30.
12. Hilczer B., Smogor H., Goslar J. Dielectric Response of Polymer Relaxors // Journal of Materials Science – 2006. – V. 41. – P. 117–127.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА МЕЖФАЗНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДОМ И НАНОВОЛОКНАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Ткаченко С.Н.[1], Семенихин М.В.[1], Родкевич Н.Г.[2]

[1] НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2А, [2] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/1.
E-mail: tkasergey@yandex.ru

На сегодняшний день актуальной задачей материаловедения является разработка нанодиэлектриков с улучшенными физико-механическими характеристиками. Известно, что введение малых концентраций ультрадисперсных порошков оксида алюминия в полиэтилен высокого давления приводит к значительному улучшению прочностных характеристик последнего [1], в том числе и стойкости к растрескиванию.

Поливинилиденфторид (ПВДФ) является одним из наиболее перспективных полимеров, обладающих сегнетоэлектрическими и пьезоэлектри-

ческими свойствами. Данный материал отличается высокими кристалличностью, прочностью, твердостью, жесткостью, стойкостью к истиранию и радиации [2, 3].

Улучшение физико-механических характеристик ПВДФ путем введения нановолокон оксида алюминия является актуальной научной и практической задачей. Однако существует проблема агрегирования нановолокон в процессе изготовления композиционного материала. В данной работе авторы попытались подобрать аппретирующий агент, который бы не только препятствовал агрегированию нановолокон оксида алюминия, но и улучшал взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей.

Объектами исследования являлись три композиционных материала на основе ПВДФ с одинаковой концентрацией (1 вес. %) нановолокон оксида алюминия Al_2O_3.

В качестве полимерной матрицы был использован порошкообразный фторопласт-2М марки «В» ОАО «Пластполимер» г. Санкт-Петербург. Диаметр частиц порошка составлял от 20 до 200 мкм, при среднем значении – 50 мкм.

Нановолокна Al_2O_3 были получены гидролизом в воде из порошка AlN. Характерный вид используемых нановолокон представлен на рис. 1.

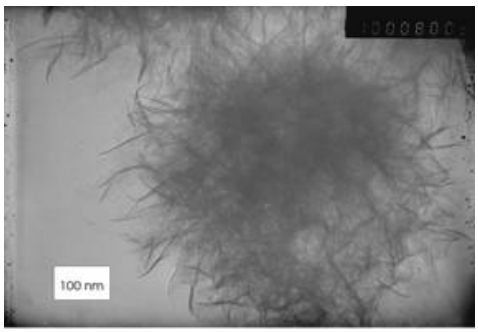


Рис. 1. Нановолокна Al_2O_3

Первый композиционный материал (ПВДФ + 1% Al_2O_3) изготавливался путем простого смешивания порошка полимера и нановолокон в планетарной мельнице без использования аппретирующих агентов.

Для второго композиционного материала (ПВДФ + 1% Al_2O_3 ГМДС) в качестве аппрета был использован гексометилдисилозан (ГМДС) [4]. ПВДФ и нановолокна смешивались в 1% растворе гексометилдисилозана в этаноле при воздействии ультразвука, полученная смесь отфильтровывалась и высушивалась.

Для третьего композиционного материала (ПВДФ + 1% Al_2O_3 ОХ) в качестве аппрета был использован 8-оксихинолин (ОХ) [5]. Смешивание ПВДФ и оксихинолина проводилось в диметилсульфоксиде также при воздействии ультразвука. Полученная смесь высаживалась в изопропиловый спирт, после чего высушивалась при комнатной температуре.

Улучшение межфазного взаимодействия может быть зарегистрировано методами термического анализа [6]. Температурные интервалы плавления и разложения для рассматриваемых материалов были определены методом дифференциальной сканирующей калориметрии на совмещенном ДСК-ДТА-ТГА анализаторе Q600 фирмы «TA Instruments» США. Измерения теплового потока и массы образца проводились в атмосфере аргона в диапазоне температур от 30 до 500°С со скоростью нагрева 10 град/мин. Результаты термического анализа для исследуемых материалов приведены на рис. 2–4.

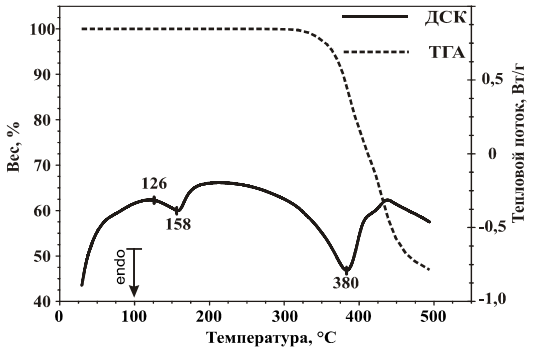


Рис. 2. Зависимости теплового потока и веса образца от температуры для ПВДФ + 1% Al_2O_3

При сравнении рис. 2 с рис. 3 и 4 видно, что использование ГМДС и ОХ приводит к росту температуры начала плавления. Что касается температуры плавления, то она не изменяется при использовании ОХ и снижается при использовании ГМДС по сравнению с ПВДФ + 1% Al_2O_3.

Добавление ГМДС также приводит к снижению температуры разложения, причем на зависимости теплового потока видны два эндотермических минимума при 325 и 376°С (см. рис. 3).

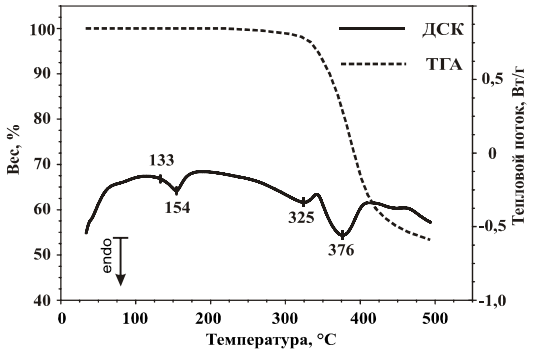


Рис. 3. Зависимости теплового потока и веса образца от температуры для ПВДФ + 1% Al_2O_3 ГМДС

Добавление ОХ, напротив, увеличивает температуру разложения на 8 градусов (см. рис. 4) по сравнению со смесью без аппретирующего агента.

Наблюдаемое увеличение температуры разложения и начала плавления для смеси ПВДФ + 1% Al_2O_3 ОХ по сравнению с ПВДФ + 1% Al_2O_3 может быть связано с образованием на поверхности Al_2O_3 слоя органического вещества, что и приводит к улучшению взаимодействия между ПВДФ и оксидом алюминия.

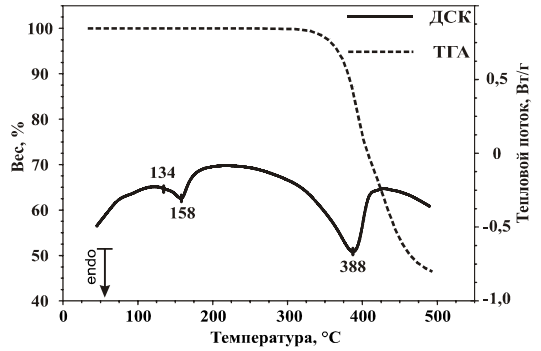


Рис. 4. Зависимости теплового потока и веса образца от температуры для ПВДФ + 1% Al_2O_3 ОХ

Таким образом, использование ГМДС для улучшения взаимодействия между ПВДФ и нановолокнами Al_2O_3 является нецелесообразным, ввиду отрицательного воздействия данной добавки на свойства композиционного материала.

Применение оксихинолина как диспергирующей добавки полностью оправдано, поскольку улучшается межфазное взаимодействие между полимером и оксидом алюминия, при этом оксихинолин не является инициатором термодеструкции ПВДФ.

Работа была выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» по гос. контракту № П407 от 31.07.2009.

Список литературы

1. Филиппов П.В. Модифицирование полиэтилена высокого давления добавками ультрадисперсных порошков. Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 230 с.
2. Энциклопедия полимеров / под ред. В.А. Каргина и др. // М.: Сов. энциклопедия. – 1972. – Т. 1.
3. Шермергор Т. Д., Стрельцова Н.Н. Пленочные пьезоэлектрики. – М.: Радио и связь, 1986. – 136 с.
4. Slavov S. V., Sanger A. R., Chuang K. T. Mechanism of Silation of Alumina with Hexamethyldisilazane // The Journal of Physical Chemistry B – 1998. – V. 102. – P. 5475–5482.
5. Li H., Zhang F., Mechanism of Silation of Alumina with Hexamethyldisilazane.htm – jp980897aAF1Wang Y., Zheng D. Synthesis and Characterization of Tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum // Materials Science and Engineering – 2003. – V. 100. – P. 40–46.
6. Берштейн В.А., Егоров В.М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. – Л. Химия, 1990. – 256 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛОСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ В СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Топоев В.Н.

Научный руководитель: Торопов А.С., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОАУ ВПО «Сибирский федеральный университет», 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: andrej_tr@mail.ru

Тенденции постепенного повышения цен на ископаемое топливо в следствие роста стоимости его добычи и одновременного снижениея стоимости энергии от нетрадиционных источников в следствие развития технологий их производства ведут к повышению конкуретноспособности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Таким образом, становятся актуальными исследования, направленные на повышение эффективности и снижение удельной стоимости энергии нетрадиционных источников, таких как фотоэлектрические установки и солнечные коллекторы.

Один из способов снижения стоимости электроэнергии, получаемой от фотоэлементов, – использование различных концентраторов прямого солнечного света [1]. В качестве концентраторов могут выступать плоские отражатели (рис. 1, *а*, *б*), установленные с одной или с обеих сторон солнечной батареи.

Применение плоских концентраторов возможно как для батарей фотоэлементов, так и солнечных нагревательных коллекторов. В умеренных широтах наблюдаются значительные сезонные изменения мощности солнечного излучения, обусловленные увеличением проходимого лучами в атмосфере земли пути в зимнее время. Использование концентраторов при пониженной мощности солнечного излучения позволяет увеличить выработку электрической или тепловой энергии [2] при неизменной установленной мощности солнечных батарей. Положительный экономический эффект будет наблюдаться, если стоимость установки концентраторов будет меньше стоимости дополнительных батарей, дающих такой же прирост годовой выработки энергии. Концентраторы работают только при прямом солнечном свете, поэтому для увеличения эффекта от их применения необходима система слежения за солнцем. Преимущество плоских концентраторов – низкая стоимость. Они могут быть изготовлены из любого материала (металла, пластмассы) с нанесением отражающего покрытия.

Для сравнения систем с одним и двумя зеркалами используются геометрические параметры, показанные на рис. 2, *в*, *г*.

Зависимость ширины S отражающего элемента от его угла наклона α и от ширины d фотоэлемента имеет вид

$$S = \frac{d \cdot \cos\left(180^\circ - 2\alpha\right)}{\cos\alpha}. \qquad (1)$$

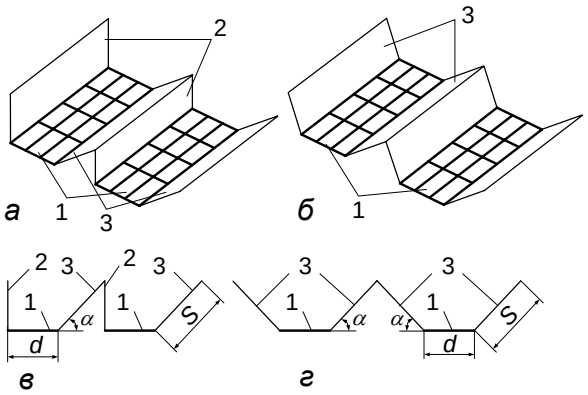


Рис. 1. Внешний вид и геометрические параметры концентраторов на основе плоских зеркал:
а – концентратор с одним плоским зеркалом;
б – концентратор с двумя плоскими зеркалами;
в, г – геометрические параметры концентраторов с одним и двумя плоскими зеркалами соответственно;
1 – батарея фотоэлементов; 2 – поддерживающие элементы; 3 – зеркала; d – ширина фотоэлемента, мм;
S – ширина зеркала, мм; α – угол наклона зеркала, град.

Коэффициент усиления светового потока определяется по формуле

$$K = 1 + n \cdot \frac{S \cdot \cos\alpha}{d}, \qquad (2)$$

где n – количество отражающих зеркал (n=1 для рис. 1, *а*, n=2 для рис. 1, *б*).

Для известного значения K может быть определен угол наклона α, °

$$\alpha = 90 - 0{,}5 \cdot \arccos\frac{K-1}{n}.$$

На практике величину коэффициента усиления светового потока необходимо корректировать с учетом коэффициента отражения используемых концентраторов.

После определения угла наклона по (1) для заданной ширины фотоэлемента d определяется ширина зеркала S. Параметр S определяется с учетом полного использования отражающей поверхности (зеркала), т. е. все лучи прямого света, падающие на эту поверхность, будут отражаться на поверхность фотоэлемента.

С использованием (1) для значения d=100 мм получена зависимость ширины зеркала от угла его наклона (рис. 2). При значении угла 45° отраженные лучи идут параллельно поверхности фотоэлемента, ширина зеркала равняется нулю. С увеличением угла наклона количество отраженных лучей, попадающих на поверхность фотоэлемента увеличивается, соответственно, увеличивается полезная ширина S. Большие (свыше 70°) значения угла характеризуются быстрым ростом параметра S. Угол 90° соответствует бесконечно длинному зеркалу, лучи идут вдоль отражающей поверхности.

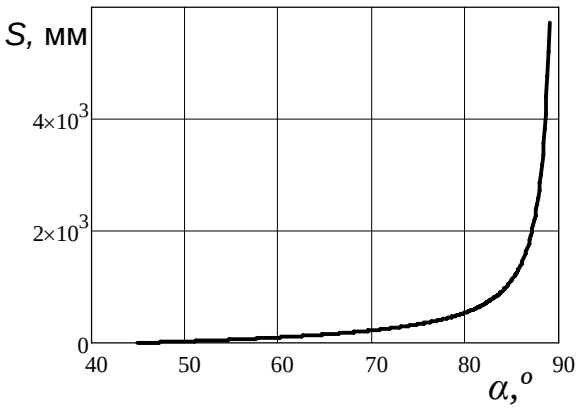


Рис. 2. Зависимость ширины зеркала от угла наклона при постоянной величине d

Зависимости коэффициентов усиления светового потока от угла наклона зеркал при d=100 мм, построенные с использованием (2) представлены на рис. 3. Аналогично графику рис. 2 до значения угла 70° наблюдается практически линейное увеличение коэффициентов, затем рост коэффициентов замедляется. Коэффициенты асимптотически приближаются к предельным значениям (2 для однозеркальной, 3 – двухзеркальной систем).

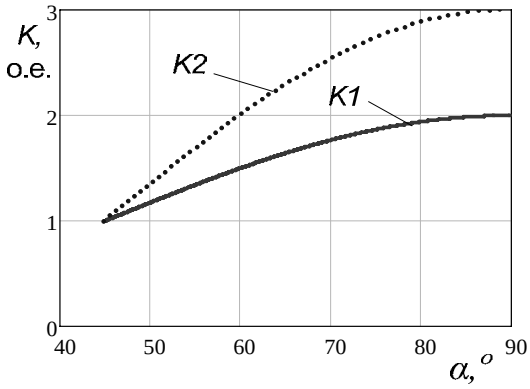


Рис. 3. Зависимость коэффициентов усиления светового потока от угла наклона при постоянной величине d для одно- (K1) и двухзеркальной (K2) систем

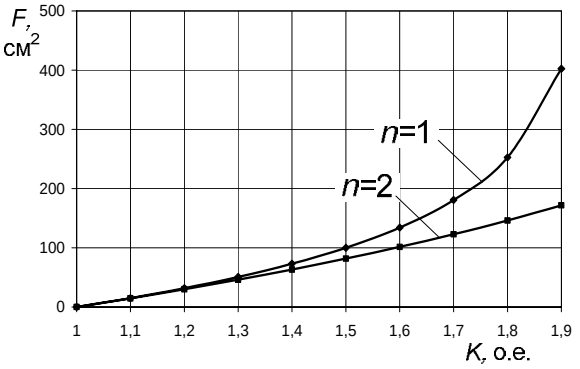


Рис. 4. Зависимости общей площади зеркал от коэффициента усиления светового потока для одно- и двухзеркальной систем

Суммарная площадь зеркал, необходимая для получения одинаковых коэффициентов усиления светового потока, различна для одно- и двухзеркальной систем (рис. 4). При небольших значениях (<1,3) коэффициента усиления обе системы практически равноценны, затем преимущество двухзеркальной системы усиливается с дальнейшим увеличением значения коэффициента.

Коэффициент усиления K>2 возможно получить только в двухзеркальной системе, однако, например, при K=1,7 площадь двухзеркального концентратора будет в 1,5 раза меньше площади однозеркального.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

• угол наклона зеркал не должен превышать 70º, так как при больших значениях стоимость зеркал возрастает быстрее коэффициента усиления светового потока;

• при требуемых значениях коэффициента усиления светового потока K<1,3 выгоднее использовать систему с одним боковым зеркалом, для K>1,3 дешевле будет система с двумя боковыми зеркалами.

Список литературы

1. Васильев, А. М. Полупроводниковые фотопреобразователи [Текст] / А. М. Васильев, А. П. Ландсман. – М.: Изд-во «Советское радио», 1971. – 248 с.
2. Сарнацкий, Э.В. Системы солнечного тепло и хладоснабжения [Текст] / Под ред. Э.В. Сарнацкого, С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.: ил.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Усов И.М.

Научный руководитель: Мастерова О.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 643050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: usov@sibmail.com

В мировой практике наиболее распространена передача электроэнергии переменным током. Но мощность, которую можно передать по таким линиям, особенно на большие расстояния, ограничивается многими факторами: предельной мощностью по условиям устойчивости, по нагреву проводников, потерями на корону и т. д.

В электропередачах постоянного тока (ППТ) отсутствуют многие факторы, свойственные электропередачам переменного тока и ограничивающие пропускную способность. Предельная мощность, передаваемая по ЛЭП постоянного тока, больше, чем у аналогичных ЛЭП переменного тока. Ограниченность применения ППТ связана главным образом с техническими трудностями создания эффективных недорогих устройств для преобразования переменного тока в постоянный (в начале линии) и постоянного тока в переменный (в конце линии).

К настоящему времени в мире действует около 100 объектов постоянного тока общей мощностью около 75 ГВт. Интерес к передаче постоянного тока подтверждается примерами использования ППТ и вставок постоянного тока (ВПТ – подстанция, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный и последующего преобразования постоянного тока в переменный исходной или иной частоты) в быстроразвивающихся Китае и Индии.

В Европе в последние годы наблюдается тенденция к интегрированию международных энергосистем для получения дополнительных эффектов от их совместной работы и для равноправного участия производителей и потребителей на международном рынке электроэнергии. При этом передачам постоянного тока отведена существенная роль как в силу географических причин (водные преграды между, например, Скандинавскими странами и материком), так и в силу характеристик ППТ.

Применение электропередач постоянного тока и вставок постоянного тока в объединенных энергосистемах определяется их специфическими техническими характеристиками:

1)С помощью ППТ (ВПТ) осуществляется несинхронная связь между энергосистемами, обеспечивающая возможность независимого регулирования частоты в каждой из них. Нарушения режима (короткие замыкания, сбросы мощности, набросы нагрузки) в одной из объединенных энергосистем практически не сказываются на работе другой. Через ППТ (ВПТ) могут объединяться энергосистемы, работающие с различной номинальной частотой (50 и 60 Гц) или разной идеологией поддержания частоты.

2)Быстродействующее регулирование преобразователей ППТ и ВПТ позволяет практически безынерционно изменять величину и направление потока мощности, благодаря чему такая связь свободна от нерегулируемых перетоков мощности и способна осуществлять передачу электроэнергии по заданной программе. Законы регулирования могут быть выбраны с большой степенью незави-

симости от изменений режима (уровней напряжения, частоты) в связываемых энергосистемах.

3)Объединение энергосистем переменного тока или ввод дополнительной мощности в энергосистему через ППТ (ВПТ) не приводит к увеличению токов КЗ.

4)Для длинных ЛЭП нет ограничений передаваемой мощности по условиям нарушения устойчивости. Технические пределы нагрузки для воздушных и кабельных линий определяются только условиями теплового режима.

5)ППТ обладают существенным по сравнению с ЛЭП переменного тока преимуществом в части надежности, так как вероятность одновременного отключения обоих полюсов ППТ более чем на порядок ниже вероятности отключения трехфазной линии.

6)При передаче электроэнергии через широкие водные преграды (более 40–50 км) применение ППТ с подводным кабелем не имеет альтернативы.

7)Допустимая напряженность электрического поля для кабелей постоянного тока в 5– 6 раз выше, чем для кабелей переменного тока. Кратности внутренних перенапряжений на воздушных линиях постоянного тока ниже, чем для линий переменного тока. Это значит, что при одинаковых уровнях изоляции для ППТ можно применить более высокое напряжение.

Для применения ППТ в Единой национальной электрической сети России (ЕНЭС) существуют объективные предпосылки, исходящие из указанных выше преимуществ ППТ:

1) большая протяженность территории страны;

2) неравномерное распределение энергоресурсов и промышленности (наибольшие запасы минерального топлива и гидроресурсов – в Сибири, наибольшее сосредоточение населения и промышленности – в европейской части);

3) большое число удаленных от центров потребления перспективных створов для сооружения ГЭС;

4) формирование ЕНЭС в виде крупных региональных объединений, связанных между собой сравнительно слабыми связями.

В перспективных планах роль электропередачи постоянного тока в ЕНЭС связана с необходимостью транспорта электроэнергии из энергоизбыточных регионов Сибири в центр, на юг и Дальний Восток.

В частности, перспективным представляется использование вставки постоянного тока в магистральных электрических сетях 220 кВ Томской энергосистемы.

Томская энергосистема является дефицитной, недостающая мощность в северные районы Томской области передается от Тюменской энергосистемы через подстанцию Нижневартовская. Юго-восточные районы Томской области получают электроэнергию от Красноярской энергосистемы через подстанцию Итатская.

Причем две части Томской энергосистемы работают, изолировано, так как слабая межсистемная связь 220 кВ (Нижневартовская – Советско-Соснинская – Чапаевка – Вертикос – Парабель – Чажемто – Володино – Томская) не позволяет объединить на параллельную работу две мощные энергосистемы, работающие несинхронно. Деление системы осуществлено между подстанцией Вертикос и подстанцией Парабель, обе цепи находятся под напряжением, но перетока по мощности между данными подстанциями нет (см. рис. 1).



Рис. 1. – Участок сети 220 кВ между ПС Вертикос и ПС Парабель

Применение на этом участке ВПТ значительно усилит связь между энергосистемами Западной и Восточной Сибири, увеличит надежность и экономичность работы ЕНЭС, что особенно важно в условиях формирования оптового рынка электроэнергии и мощности.

Так же возможно использование электропередач постоянного тока для связи России с энергосистемами других государств. Из-за особого расположения России на Евро-Азиатском континенте отечественная энергосистема может стать не только крупнейшим экспортером электроэнергии, но и посредником в обмене энергопотоками для энергосистем сопредельных государств, что потребует значительного улучшения управляемости ЕНЭС. В этих условиях связь между энергосистемами на постоянном токе позволит более полно и эффективно контролировать перетоки мощности и выполнять контрактные обязательств.

Список литературы

1. Ивакин В.Н., Сысоева Н.Г., Худяков В.В. Электропередачи и вставки постоянного тока и статические тиристорные компенсаторы. – М.: Энергоатомиздат, 1993
2. Зеленохат Н.И., Шаров Ю.В. Комбинированное объединение больших энергосистем // Электричество. – 2006. – № 5.
3. Балыбердин Л.Л. и др. Увеличение мощности электропередачи 330/400 кВ с вставкой постоянного тока между энергосистемами России и Финляндии // Электрические станции. – 2004. – № 10.
4. Булыгина М. А. и др. Режимы работы передач и вставок постоянного тока, выполненного на основе преобразователей напряжения // Электрические станции. – 2004. – № 10.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СИСТЕМ РЕЗОНАНСНОЙ НАСТРОЙКИ СЕТИ

Филимонов С.А.

Научный руководитель: Шпиганович А.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Схемы автоматической компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) целесообразно рассматривать отдельно (для режима «А» – нормальной эксплуатации сети и режимов «В» и «С» – глухого и перемежающегося дугового ОЗЗ).

Функциональная схема одноканальной системы резонансной настройки объекта в режиме «А» приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема одноканальной системы резонансной настройки объекта для режима «А»

Целью системы является резонансная настройка контура нулевой последовательности сети (КНПС), что обеспечивает готовность контура компенсации емкостной составляющей минимизировать напряжения и токи ОЗЗ в режимах «В» и «С». Резонансная настройка обеспечивается по самонастраивающейся системе (СНС) с периодической поисковой модуляцией параметров [1]. Управляемый объект – контур нулевой последовательности сети, подвергается воздействию координатного, входного сигнала – тока θ(t) несимметрии в сети, параметрических возмущений по емкости C и проводимости g, параметрического управления L, а также параметрических поисковых колебаний δ активного сопротивления R(t) в нейтрали сети. Модуляция сопротивления R производится периодическим поисковым сигналом прямоугольной формы с частотой Ω, поступающим с выхода у генератора поисковых и опорных сигналов (ГОПС). Периодическому изменению подвергается добротность объекта, что вызывает модуляцию и фазы φ(t), и частоты ω(t) тока, протекающего в нейтрали сети. Последний является выходной координатой объекта и входной координатой регулятора в нормальном режиме «А» эксплуатации сети. Ток подается на вход у частотного детектора сигналов поиска, выделяющего из частотно-модулированного тока I(t) составляющую с частотой Ω, которая содержит информацию о резонансе в КНПС. Она отфильтровывается и усиливается усилителем поисковых сигналов (УПС), а затем поступает на сдвоенный синхронный детектор с коррекцией (СДК). Он формирует управляющий сигнал V(t). Знак и величина сигнала определяется знаком и величиной расстройки КНПС. Он используется для построения управления $y_1(t)$, формируемого на устройствах управления $УУ_1$. Сигнал $y_1(t)$ поступает на вход астатического исполнительного органа $ИО_1$, изменяющего индуктивность L реактора. Описанная выше структура СНС, обладает наибольшей универсальностью по сравнению с другими типами автоматической настройки компенсации в режиме «А». Функции модулятора сопротивления R выполняет силовой модуль блока $ИО_2$ со схемой, преобразованной по сигналу с блока управления.

Сигнал на входе частотного детектора снимается с силового модуля. Он включает релейный усилитель, частотнозависимую цепь и амплитудный детектор. Блок УПС выполнен в виде последовательно включенного активного полосового фильтра второго порядка, настроенного на поисковую частоту Ω и пассивного режекторного фильтра, настроенного на 3Ω. Необходимость использования фильтра объясняется взаимодействием между гармониками поискового сигнала и опорного сигнала синхронного детектора, что ведет к погрешности. Блок СДК содержит два параллельных канала. Каждый из них имеет последовательно включенные релейное звено с сумматором; множительное звено; фильтр низких частот. Выходы каналов объединяют на устройстве выделения максимального уровня сигналов. На вторые входы сумматоров подаются корректирующие сигналы гармонической формы от ГОПС. В этом же блоке формируется релейный опорный сигнал для вторых входов множительных звеньев блока СДК. Соответствующей регулировкой амплитуды и фазы корректирующих сигналов и фазы опорного сигнала можно добиться необходимой точности (с погрешностью, не более 5 %) и удовлетворительной динамики процесса резонансной настройки. Устройство $УУ_1$ для дугогасящего реактора (ДГР) плунжерного типа представляет релейное звено с зоной нечувствительности и с сумматором на входе. На сумматор кроме сигнала V(t) подается пилообразный линеаризующий сигнал с частотой 3 Гц. Он служит для по-

вышения статической точности и улучшения динамики резонансной настройки. Генератор опорного и поискового сигналов содержит делитель частоты сети, блок формирования опорного и корректирующих сигналов, основным элементом которого является активный фильтр второго порядка с нелинейными обратными связями [2].

Функциональная схема двухканальной автокомпенсации емкостной и активной составляющих токов ОЗЗ в режиме «В» и «С» представлена на рис. 2.

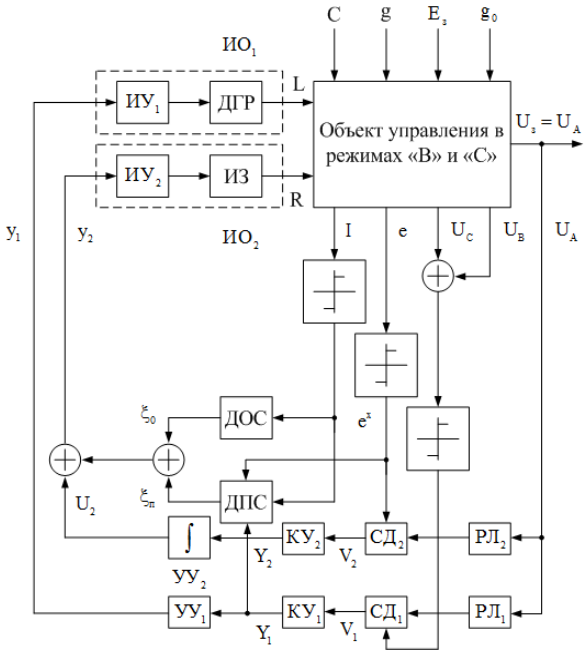


Рис. 2. Схема двухканальной системы управления напряжением в режимах «В» и «С»

Входной координатой объекта управления здесь является напряжение $E_з(t)$ источника поврежденной фазы. Параметрическими возмущениями являются параметры C и g. Другие возмущения включают в себя, ток θ(t) несимметрии сети и сопротивление R_0 места замыкания. Цель самонастройки в режимах «В» и «С» достигается посредством параметрических управлений $y_1(t)$ и $y_2(t)$. При построении замкнутых параметрических контуров самонастройки L и R (контуров автоматической компенсации емкостной и активной составляющих) использован фазовый способ выделения полезной информации. Это позволило избежать распознавания каждого из упомянутых режимов. Входным сигналом для каналов L и R служит напряжение поврежденной фазы. Оно поступает на релейные звенья с линеаризацией $РЛ_1$ и $РЛ_2$, играющие роль усилителей-ограничителей при больших напряжениях.

Линеаризация осуществляется сигналом пилообразной формы с частотой порядка 1 кГц, вырабатываемым специальным генератором. Информация о величине и знаке расстройки в каналах емкостной и активной составляющих извлекается при помощи синхронных детекторов $СД_1$, $СД_2$. В качестве опорных сигналов демодуляторов используются релейные сигналы, совпадающие по фазе соответственно с линейным напряжением $U_{BC}(t)$ между «здоровыми» фазами и с напряжением смещения нейтрали. Линейное напряжение восстанавливается алгебраическим суммированием напряжений $U_B(t)$ и $U_C(t)$ на «здоровых» фазах. Знаки и величины сигналов V_1 и V_2 на выходах $СД_1$ и $СД_2$ определяются расстройками по емкостной и активной составляющим. Они необходимы для формирования управлений $y_1(t)$ и $y_2(t)$ в параметрических контурах L и R. Сигналы, скорректированные в устройствах $КУ_1$, $КУ_2$, и придающие системе в режиме «С» асимптотическую устойчивость, поступают на входы $УУ_1$ и $УУ_2$.

Выход $УУ_2$ подается на вход исполнительного органа $ИО_2$ через сумматор. С его помощью вводятся корректирующие сигналы каналов дополнительной обратной связи (ДОС) по постоянной составляющей и дополнительной прямой (или параллельной) связи (ДПС) в контуре компенсации емкостной составляющей. Канал ДОС обеспечивает устойчивость КНПС по постоянной составляющей при малых сопротивлениях R_0 замыкания и способствует скорейшему затуханию апериодического переходного процесса в токе через место замыкания при возникновении режима «В». Блоком ДОС осуществляется измерение постоянной составляющей в токе через ДГР (сравнением длительностей положительных и отрицательных полупериодов указанного тока), и модуляция сигнала постоянной составляющей сигналом signI(t). Указанная операция позволяет вводить в КНПС ЭДС, постоянная составляющая которой направлена встречно постоянной составляющей тока I(t) и способствует ее затуханию. ДОС содержит линейное корректирующее звено, которое обеспечивает асимптотическую устойчивость и улучшающее динамику контура компенсации постоянной составляющей, содержащего канал ДОС. Канал ДПС обеспечивает возможность мягкой подстройки индуктивности ДГР внутри зоны нечувствительности $УУ_1$, что является необходимым условием для асимптотической устойчивости контура самонастройки L. Исполнительный орган $ИО_2$ канала R содержит управляемый выпрямитель. Выбор поврежденной фазы и коммутации во входных цепях формирования опорных сигналов обеспечиваются блоком выбора поврежденной фазы (БВПФ). Он содержит двухполупериодные выпрямители, на которые подаются фазные напряжения сети, снабженных RC-фильтрами. Выходы фильтров идут на входы компараторов, производящих сравнение значений выпрямленных напряжений фаз «А» и «В», «В» и «С», «С» и «А». Комбинационная логическая схема определяет

фазу с минимальным напряжением, которая считается поврежденной. Данный способ распознавания поврежденной фазы эффективен как в режиме «В» глухого ОЗЗ, так и в режиме «С» перемежающегося дугового замыкания. В режиме «А» емкости RC-фильтров уже закорочены, и заряд их начинается при возникновении ОЗЗ, чем достигается высокое быстродействие указанной схемы.

Список литературы

1. Гуров Н.П. Актуальность и внедрение автоматически управляемой компенсации емкостных токов в сетях 6 кВ металлургических предприятий / Н.П. Гуров, В.Г. Сажаев // Промышленная энергетика. – 2003. – №7.
2. Долгополов А.Г. Способы автоматической настройки дугогасящих реакторов с подмагничиванием / А.Г. Долгополов // Электротехника. – 2003. – №1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Фомина И.А.,

Научный руководитель: Овсянников А.Г., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
E-mail: fomina.tvn@gmail.com

Постановка исследований

Измерительный трансформатор тока – один из самых широко используемых типов оборудования в энергетике. Трансформаторы тока сверхвысокого напряжения имеют фарфоровую покрышку и внутреннюю бумажно-масляную изоляцию конденсаторного типа. Некоторые из них имеют недостаточно высокую надежность. Основной причиной отказов трансформаторов тока является пробой внутренней изоляции. В свою очередь, причины пробоя могут быть различны: производственные дефекты, увлажнение, старение под действием частичных разрядов, действие токов короткого замыкания и т. д. Но действие высокочастотных перенапряжений – одна от главных причин, ускоряющих процесс старения изоляции. Они появляются при коммутациях разъединителей и могут достигать высоких кратностей. Известно, что электрическая прочность бумажно-масляной изоляции снижается в несколько раз при увеличении частоты воздействующего напряжения с 50 Гц до 100 кГц. Частотный диапазон перенапряжения при работе разъединителей может достигать сотен килогерц.

На ПС «Итатская-1150 кВ» имели место неоднократные случаи выхода из строя (повреждения) трансформаторов тока типа ТФРМ-500 в результате электрического пробоя изоляции. После частичной замены трансформаторов тока ТФРМ-500 на трансформаторы типа IMB-550 в марте 2003 г. произошло аналогичное повреждение уже вновь установленного трансформатора IMB-550. Предварительно предполагались следующие возможные причины повреждений ТТ. Во-первых, это заводские дефекты, связанные с конструкцией или же с нарушением технологии изготовления ТТ. Во-вторых, ненормированные воздействия высокочастотных перенапряжений на ТТ при коммутациях разъединителей. И, в-третьих, это наложение уже перечисленных причин, а именно, повреждение ТТ в результате ненормированных воздействий при наличии заводских технологических дефектов ТТ.

Целью представленной работы является оценка коммутационных перенапряжений, воздействующих на измерительный трансформатор тока типа IMB-550 (фирма ABB).

Перенапряжения, воздействующие на изоляцию ТТ при коммутациях разъединителей

Ненормированные воздействия на ТТ в виде ВЧ перенапряжений, возникающих при коммутациях разъединителей, рассматривались в качестве одной из возможных и наиболее вероятных причин повреждений ТТ в эксплуатации. Целью исследований являлось определение параметров перенапряжений, воздействующих на изоляцию ТТ при коммутациях разъединителей в типовых схемах переключений на ПС, осуществляемых при выводе в ремонт оборудования.

Наиболее неблагоприятный режим с точки зрения перенапряжений, воздействующих на ТТ, – это коммутация шинного разъединителя. Характерные осциллограммы процессов для этого случая показаны на рис. 1.

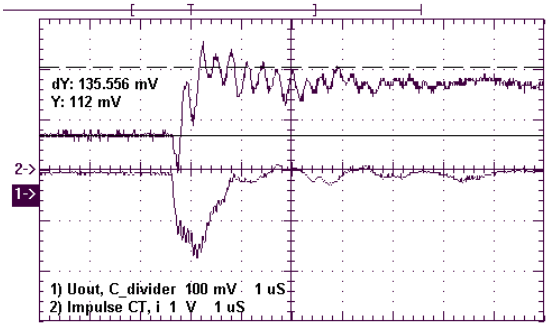


Рис. 1 Осциллограммы напряжения (1) и тока (2) во время отключения разъединителей трех фаз

При коммутации разъединителя кратность перенапряжений достигает 1,25·$U_{Ф.М.}$, которые сопровождаются протеканием импульсного тока в цепи заземления нулевой обкладки, амплитуда которого достигала 1300÷1500 А, а частота колебаний составляла 500÷700 кГц.

При измерениях переходной характеристики на обмотку ТТ подавался прямоугольный импульс длительностью более 100 мкс и амплитудой 16,5 В (на холостом ходу). Осциллограммы переходных процессов приведены на рис. 2.

В результате, были определены параметры первичной обмотки:

- ёмкость изоляции – 1250 пФ;
- индуктивность – 4,9 мкГн;
- проходная ёмкость – 36 пФ.

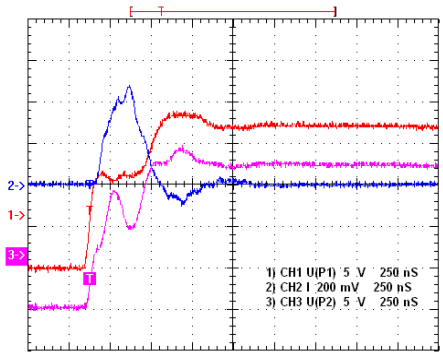


Рис. 2. Реакция ТТ на прямоугольный импульс

Исследование процессов, происходящих внутри трансформатора тока IMB-550

Первичная обмотка трансформатора тока IMB-550 состоит из одного витка U-образной формы, выполненная с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа, в которой требуемое равномерное распределение напряжения осуществляется при помощи металлических обкладок, закладываемых в изоляцию в процессе ее намотки. Общая длина первичной обмотки составляет почти 10 метров и, соответственно может обладать значительной индуктивностью. На рис. 3 приведены конструктивные размеры первичной обмотки ТТ IMB-550.

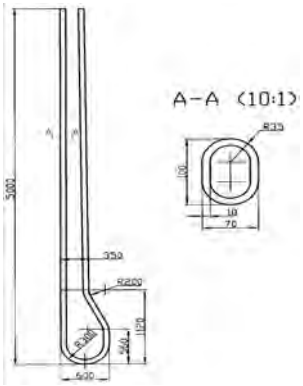


Рис. 3 Конструкция первичной обмотки ТТ IMB-550

Параметры схемы замещения были получены в результате расчетов, разбив стержень на 11 частей, две части из которых по 0,5 метров без изоляции и остальные по 1 метру, а также приняв 5 слоев изоляционной бумаги толщиной 2 мм каждый. Суммарное значение индуктивности первичной обмотки трансформатора тока получили L_{Σ}=4,9 мкГн, что совпадает с измеренным значением. Суммарное значение емкости изоляции – C_{Σ}=1358 пФ, что не сильно отличается от измеренного значения.

Расчет напряжений на изоляции велся в схеме, которая смоделирована в прикладном пакете Pspice. На исследуемую схему подавался прямоугольный импульс бесконечной длительности с увеличением напряжения до $U_{фм}$=428, 66 кВ с фронтом 0,5 мкс. Расчетная осциллограмма приведена на рис. 4

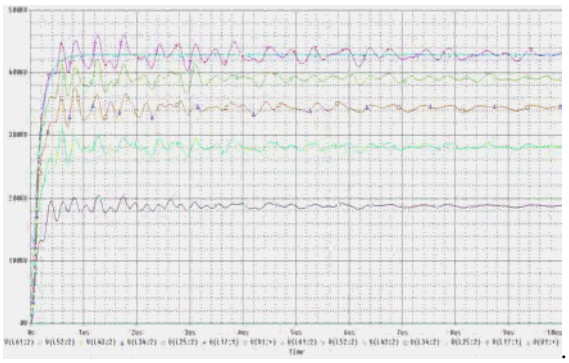


Рис. 4 Осциллограмма переходных процессов при $\tau_ф$=0,5 мкс

На осциллограмме видно, что при воздействии на первичную обмотку прямоугольного импульса не ней возникает резонанс напряжений, с наибольшей амплитудой 460,84 кВ в середине обмотке, что соответствует 1,1 $U_{фм}$. Ближе к нулевой обкладке, амплитуда напряжения уменьшается до 204,46 кВ.

Произвели также расчет, подавая на первичную обмотку прямоугольный импульс с различной длительностью фронта. По результатам опытов стало очевидно наличие резонанса напряжений, но в каждом случае с различными амплитудами. Наибольшие амплитуды наблюдается при крутых фронтах импульса $U_{фм}$ =494,11 кВ и $U_{фм}$ =481,62 кВ, соответственно при $\tau_ф$ = 0,2 мкс и $\tau_ф$= 0,3 мкс. Сглаживая фронт импульса, амплитуда и частота резонанса уменьшается и становится неопасными для изоляции первичной обмотки трансформатора тока.

Выводы

Индуктивность первичной обмотки трансформатора тока IMB-550 достаточно высока из-за большой длины L ≅ 5 мкГн. Существует основной резонанс напряжений на частоте около 2 МГц. Амплитуда колебаний не превышает 1,15$U_{фм}$. Возникновение внутреннего резонанса напряжений – может быть очень опасно для изоляции из-за внутренних перенапряжений и их колебаний.

Список литературы:

1. Протокол предварительных измерений перенапряжений и токов при коммутациях разъединителей ПС «Итатская» Красноярского предприятия МЭС Сибири [текст] / Обследование проведено бригадой НСПБ БП «Электросетьсервис». Новосибирск, 2003.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО СТАТИЧЕСКОЙ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Фролов Е.Н.

Научный руководитель: Вайнштейн Р.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shining_sun@sibmail.com

Одной из важнейших задач при планировании режимов работы энергосистем является определение предельных перетоков активной мощности по линиям электропередачи. Ограничение перетока на сравнительно длинных линиях обусловлено возможным нарушением статической апериодической устойчивости.

Определение предельного перетока в различных схемно-режимных ситуациях необходимо не только для оперативного ведения режима работы энергосистемы, но и в вычислительных устройствах централизованных систем противоаварийного управления.

Одним из используемых в настоящее время методов определения предельного перетока является метод утяжеления режима, который реализован в промышленных программных комплексах расчета установившихся режимов энергосистем [1]. Возможность определения предельного перетока на основе расчёта серий установившихся режимов основана на том, что при определённых ограничениях условия несходимости итерационного процесса на основе метода Ньютона совпадает с достижением предельного перетока. Среди условий, при которых возможно такое определение предельных перетоков важнейшим является учёт генераторов неизменной активной мощностью P и неизменным напряжением U (PU-модель) [2]. Однако совпадение условий итерационного процесса и достижение предельного перетока нарушается при достижении заданных ограничений по минимуму или максимуму реактивной мощности, что может иметь место в процессе утяжеления.

Более совершенным способом задания генераторов, как для расчёта установившегося режима, так и для определения предельного перетока является использование модели генераторов с неизменной активной мощностью и ограничениями по току возбуждения, что соответствует физическим условиям работы генератора (PE_q-модель) [3]. Однако пока нет доступных для широкого использования программных комплексов, в которых используется PE_q-модель. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность определения предельных перетоков на базе программ расчёта электромеханических переходных процессов.

В большинстве используемых в настоящее время программ предусмотрена возможность задания изменения мощности генераторов, мощности нагрузки или каких-либо других параметров, например, в задаваемые моменты времени. Это позволяет, в принципе, сформировать траектории утяжеления, аналогичные тем, которые формируются при утяжелении установившихся режимов. Промежутки времени между подачей команд на изменение мощности генераторов или нагрузки на величину принятой ступени в этом случае следует принимать такими, чтобы возникающий при каждой коммутации переходный процесс практически затухал до следующей коммутации. Благодаря этому практически воспроизводится семейство постепенно утяжеляемых после каждой коммутации режимов. Такой способ утяжеления в данной работе назван динамическим утяжелением. Расчёт ведется до тех пор, пока не возникнет наблюдаемое по графику самопроизвольное монотонное изменение взаимного угла эквивалентных генераторов соединяемых частей энергосистемы.

При таком способе утяжеления адекватно учитываются реакции генераторов, так как в модели для расчёта переходных процессов задаётся именно ограничение по току возбуждения (E_{qMAX}, E_{qMIN}). Кроме этого учитываются, имеющие место в реальном объекте действие автоматического регулятора возбуждения (АРВ), а также, при несбалансированном утяжелении, изменение частоты и соответствующая реакция автоматических регуляторов частоты вращения турбин (АРЧВ) и нагрузки в соответствии с их статическими характеристиками. Благодаря этому можно исследовать влияние на предельные перетоки не только различия схемно-режимных ситуаций, но и характеристик и параметров настройки систем регулирования генератора и турбины. Если в программном комплексе имеются модели тепловой части электростанций, то исследуемые режимы и перетоки могут определяться с учётом влияния реакции тепловой части.

В качестве примера проиллюстрируем метод динамического утяжеления на следующей простой схеме (рис. 1).

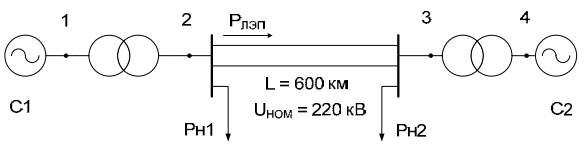


Рис. 1. Схема простой энергосистемы для иллюстрации определения предельного перетока динамическим методом

Мощности эквивалентных генераторов и коэффициенты статизма систем С1 и С3 соответственно равны P_1 = 5000 МВт, k_{C1} = 0,06 и P_2 = 10000 МВт, k_{C2} = 0,07. В моделях эквивалентных генераторов учтены РЧВ со статизмом 5 и 7% и тиристорная система независимого возбуждения и АРВ сильного действия (АРВ СД).

Сравним далее определение предельного перетока методом утяжеления установившихся режимов и динамическим методом с использованием программы MUSTANG.

В исходном режиме переток активной мощности направлен от системы 1 к системе 2 и равен 163,5 МВт. Утяжеление на базе расчётов установившихся режимов задаётся ступенчатым отключением нагрузки в узле 2 ступенями по 20 МВт. Результат утяжеления даёт значение предельного перетока, равное 448,8 МВт. По скольку расчёт установившегося утяжеления в программе MUSTANG проводится без учета изменения частоты, то изменение перетока точно соответствует изменению мощности нагрузки в узле 2.

Для утяжеления динамическим методом задаётся ступенчатое отключение нагрузки с интервалом времени 7 секунд, причём последние 8 шагов принимаются последовательно уменьшающимися для более точного определения границы устойчивости. На графике (рис. 2) пунктиром отмечен момент времени $t_{кр}$ = 91,5 с, при котором начинается самопроизвольное увеличение угла. Следовательно, значение мощности перетока в этот момент времени, равное 442,8 МВт, является предельным по статической апериодической устойчивости.

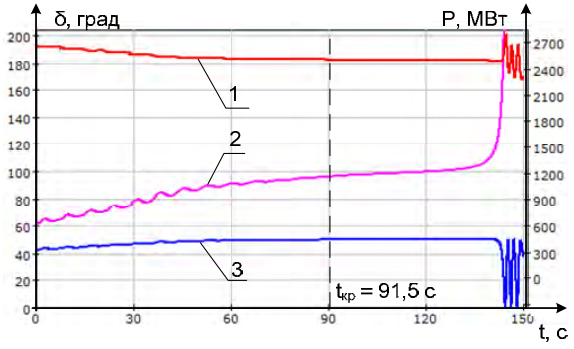


Рис. 2. Процесс изменения мощности нагрузки в узле №2 – 1; взаимного угла – 2; перетока активной мощности в одной цепи ЛЭП – 3

На графиках рис. 3, *а* иллюстрируется реакция систем регулирования частоты вращения эквивалентных турбин на изменение частоты, которое имеет место в связи с тем, что воздействие при утяжелении является несбалансированным, а именно осуществляется только отключением нагрузки. Изменение мощности генераторов, которое при этом имеет место, приводит к тому, что для загрузки электропередачи до предела устойчивости требуется большая мощность отключаемой нагрузки (164 МВт против 121 МВт при утяжелении без учёта изменения частоты).

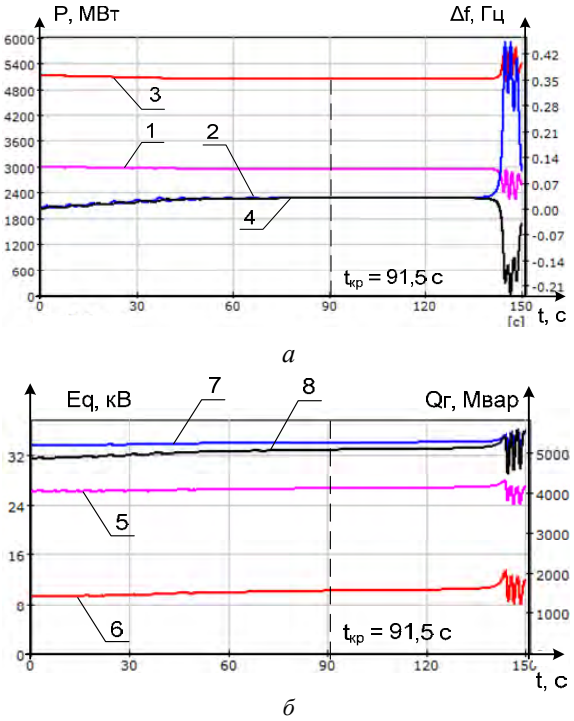


Рис. 3. Иллюстрация реакции АРЧВ (а) и АРВ (б) в процессе динамического утяжеления: 1, 3 – мощности генераторов; 2,4 – изменение частоты соответственно систем С1 и С2; 5, 7 – ток возбуждения (Eq); 6, 8 – реактивные мощности соответственно систем С1 и С2

Реакция АРВ иллюстрируется на рис. 3,б. В процессе утяжеления, как видно, возрастает реактивная загрузка и, в соответствии с этим, АРВ увеличивает ток возбуждения для поддержания напряжения на выводах эквивалентных генераторов.

Вывод

1. Расчётные эксперименты показали возможность определения предельных перетоков по статической апериодической устойчивости на базе программных комплексов для расчета электромеханических переходных процессов. При этом в процессе динамического утяжеления полноценно учитывается реакция систем авоматического регулирования турбин и генераторов.

2. Полученные результаты могут быть основанием для дальнейшего развития исследований по применению способа динамического утяжеления.

Список литературы

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 №277.
2. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ВБЛИЗИ НУЛЯ ТОКА ВАКУУМНОЙ ДУГИ

Хоанг Туан Ань

Научный руководитель: Лавринович В. А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tuananh.tomsk@gmail.com

В вакуумных выключателях (ВВ), дуга возникает при размыкании контактов вакуумной дугогасительной камеры (ВДК), и горит в парах материала катода. Особенность гашения вакуумной дуги заключается в том, что при токе меньше некоторого значения, количество пара материала недостаточно для горения дуги, ток резко уменьшается до нуля со скоростью, значительно превышающей скорость естественного подхода тока к нулю. Значение тока, начиная с которого он резко уменьшается, называется током среза, а это явление называется срезом тока [1, 2]. Срез тока приводит к повышенному уровню перенапряжений на индуктивной нагрузке, поэтому он представляет особый интерес.

В данной работе были исследованы явления вблизи нуля тока при гашении вакуумной дуги, такие как срез тока и наличие остаточного тока. В ходе работы были определены параметры остаточного тока, а также значения тока среза при различных значениях максимального тока дуги и скорости подхода тока к нулю при срезе тока.

Экспериментальная установка

Эксперименты были проведены на серийно выпускаемых ВДК материалом контактов CuCr50/50. Контакты ВДК разведены на малое расстояние d = 0,25÷1,00 мм. Напряжение на конденсаторной батарее повышается в процессе ее заряда, затем она разряжается через ВДК на катушки индуктивности, образуя вакуумную дугу в ВДК (рис. 1). Емкость конденсаторной батареи постояна во всех экспериментах C = 4,5 мкФ, индуктивность катушек L меняется от 0,78 до 6,04 мГн, сопротивление резистора R меняется от нескольких сотен Ом до нескольких кОм. Для измерения тока дуги и падения напряжения на элементе используются шунт и омический делитель напряжения соответственно. Сигналы от шунта и делителя напряжения подключены к осциллографу типа Tektronix TDS 2012 B.

Исследование параметров остаточного тока

При отсутствии резистора R (рис. 1), ток через ВДК имеет колебательный характер. При этом наблюдается остаточный ток вакуумной дуги (рис. 2).

В литературе, например в [3], наличие и изменение остаточного тока объясняется следующим образом: после нуля тока существует определенная плотность носителей заряда в межконтактном промежутке. Когда переходное восстанавлияющееся напряжение (ПВН) начинает расти, от катода зона положительного пространственного заряда расширяет в сторону анода, создавая отчетливую границу с остающейся зоной плазмы. Эта граница движется к аноду, зона плазмы становится тоньше и, наконец, исчезает, когда граница достигает анода. Остаточный ток появляется в результате перехода положительных ионов плазмы в зону пространственного заряда (рис. 3).

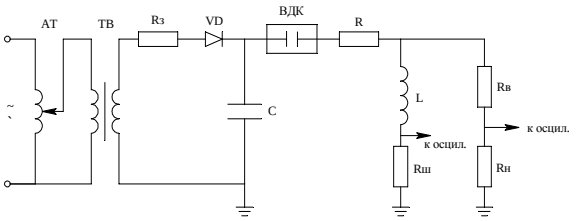


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема установки: АТ – автотрансформатор; ТВ – высоковольтный трансформатор; $R_з$ – защитное сопротивление; VD – выпрямитель; C – конденсаторы; R – активное сопротивление цепи; L – индуктивность; $R_ш$ – сопротивление шунта; $R_в$, $R_н$ – сопротивление высоковольтного и низковольтного плеч омического делителя напряжения

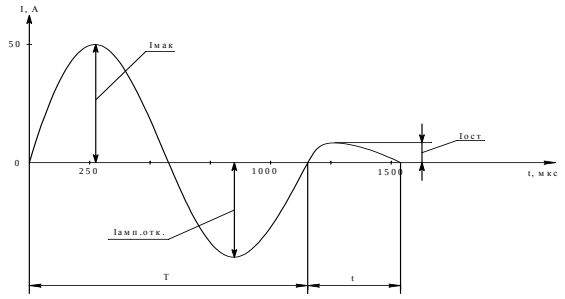


Рис. 2. Осциллограмма тока ваккумной дуги при наличии остаточного тока

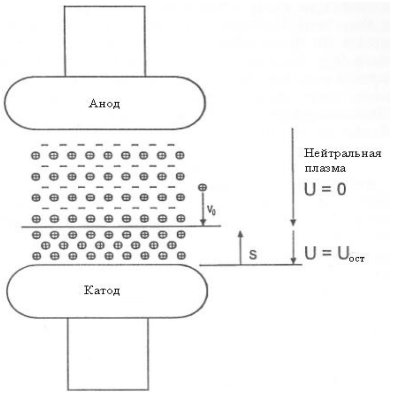


Рис. 3. Модель распределения пространственного заряда после нуля тока

По экспериментальным данным получено, что:

• Время существования остаточного тока (это и есть время существования плазмы) после нуля тока t не зависит от расстояния между контактами и составляет 300÷350 мкс. Это означает, что чем больше расстояние между контактами и токи вакуумной дуги, тем больше скорость движения носителей заряда.

• С ростом расстояния d, амплитуда отключаемого тока $I_{амп.отк.}$ и остаточный ток $I_{ост}$ увеличиваются (рис. 4). Это объясняется тем, что рост тока, обусловленный увеличением расстояний между контактами, приводит к повышению начального давления пара. По [3] снижение носителей заряда в межконтактном промежутке при высоком давлении пара незначительно, поэтому остаточное давление пара тоже растет, что соответствует росту остаточного тока.

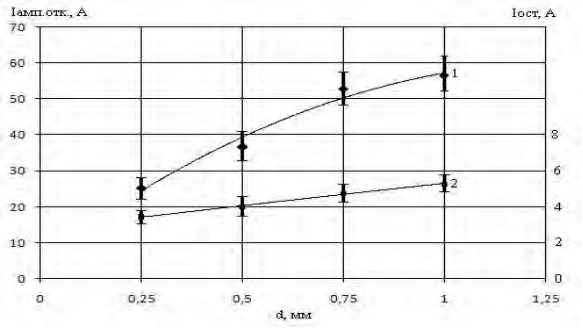


Рис. 4. Зависимости амплитуды отключаемого тока (1) и остаточного тока (2) от расстояния между контактами

Ток среза и его скорость подхода к нулю

При изменении сопротивления резистора R (рис. 1) от 7,0 до 0,5 кОм, ток имеет апериодический характер и наблюдается срез тока вблизи нуля тока. Зависимость значений тока среза от значений максимального тока вакуумной дуги при постоянном растоянии между контактами d = 1 мм приведена на рис. 5.

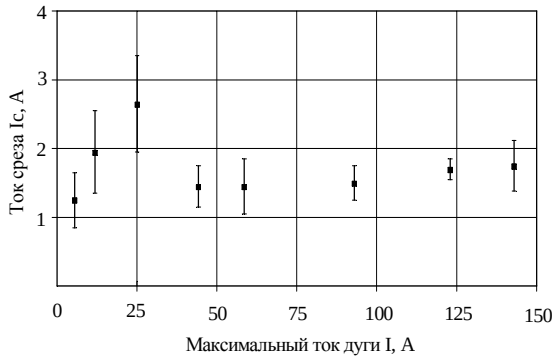


Рис. 5. Зависимость тока среза от максимального тока дуги (d = 1 мм)

С ростом тока дуги, ток среза увеличивается, достигая максимального значения, затем уменьшается до постояного значения. Аналогичный вид зависимости также был получен экспериментальным путем в [2] и при моделировании в [4]. При малом токе вакуумная дуга неустойчива, время горения дуги мало, срез тока происходит через небольшой промежуток времени после его максимума, поэтому ток среза относительно велик. При большом токе вакуумная дуга более устойчива, время горения дуги растет с ростом тока, ток среза уменьшается, затем не зависит от тока дуги.

Перенапряжения, возникающие при срезе тока, определяются не только значением тока среза, но и скоростью подхода тока к нулю di/dt. Из-за особенности тока вакуумной дуги, определение di/dt непосредственным способом с помощью осциллограмм тока трудно и недостоверно. В данной работе была предложена следующая методика определения di/dt: измеряется напряжение U, возникающее на индуктивной нагрузке L при срезе тока. Скорость подхода тока к нулю di/dt определяется по формуле: $di/dt = |U/L|$. Экспериментальные данные скорости подхода тока к нулю di/dt приведены в табл. 1.

Таблица 1

L, мГн	d, мм	$I_{мак}$, А	I_c, А	di/dt, А/мкс
0,78	0,25	35	2,8	4,5
	0,50	57	2,9	6,8
1,56	0,25	29	2,8	4,7
	0,50	45	2,8	3,9
3,12	0,25	33	3,1	1,8
	0,50	50	2,7	1,6
6,04	0,25	24	3,2	1,5

Полученные результаты показывают, что с ростом индуктивности L от 0,78 до 6,04 мГн значение тока среза остается постоянным, а скорость подхода тока к нулю di/dt при срезе тока снижается от $(4,5 \div 6,8)$ А/мкс до $(1,5 \div 1,8)$ А/мкс.

Вывод

На основе экспериментальных данных, можно сделать следующие выводы:

1. Остаточный ток обусловлен движением остаточных носителей заряда в межконтактном промежутке после гашения вакуумной дуги. Время существования остаточного тока не зависит от расстояния между контактами и тока дуги.

2. Значение тока среза зависит максимального тока дуги, который влияет на устойчи-вость дуги; и не зависит от параметров электрической цепи, например от индуктивности цепи.

3. Скорость подхода тока к нулю di/dt при срезе тока уменьшается с ростом индуктивности цепи.

Список литературы

1. Вакуумные дуги: пер. с англ. / Под ред. Дж. Лафферти. – М.: Мир, 1982. – 432 с.
2. Вакуумные выключатели в схемах управления электродвигателями / В. А. Воздвиженский, А. Ф. Гончаров, В. Б. Козлов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с.
3. Huber Eduard F.-J., Weltmann Klaus Dieter, Klaus Froehlich. – IEEE Transactions on Plasma Science, 1999, vol. 27, № 4, p. 930.
4. A. M. Chaly, A. T. Chalaya, I. N. Poluyanova, V. N. Poluyanov, Proc. of the 18th Int. Symp. On Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Eindhoven, 1998, p. 435.

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Чан М., Шмойлов А.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: thqminhtk@gmail.com, shm_av@rambler.ru

Этих особенностей четыре: 1) существенно меньшая зависимость замеров реле сопротивлений от тока и помех, 2) возможность аппроксимации распределения вероятностей сопротивлений при коротких замыканиях (КЗ) на участках линий весьма простым и удобным в расчетах равномерным законом (ЗРВ), 3) возможность учета влияния конфигурации области действия характеристик срабатывания реле сопротивления в комплексной плоскости на технический эффект, 4) необходимость выбора при однофазном КЗ замера полного фазного сопротивления или сопротивления только прямо последовательности.

Первая особенность наглядно представлена в [1], откуда видно, в зоне первых ступеней, не превышающих сопротивления линии, незначительности поперечных схемных параметров и отсутствии активных ответвлений (подпитки или отсоса) сопротивление замера до места КЗ полностью не зависит от тока. Электрические же помехи (неконтролируемые параметры режимов источников, состояние коммутаций в сети, виды КЗ, расстояние КЗ на линии от места установки аппаратуры дистанционной защиты и др.) все сконцентрированы в токах. Фазные остаточные напряжения, являющиеся падениями напряжения на сопротивлениях короткозамкнутой цепи линии (сопротивление от места установки аппаратуры дистанционной защиты до места КЗ), повторяют в себе токи вместе с их погрешностями. В отношениях данных напряжений к вызвавшим их токам, т. е. сопротивлениях замеров токи вместе с электрическими помехами практически полностью исключаются. Остаются только небольшие помехи, обусловленные поперечными параметрами участков линии, входящих в состав участков линии, входящих в короткозамкнутую цепь. Анализ замеров вторых и резервирущих третьих ступеней в [1] показывает, что их замеры в тех же условиях, что в случае первой ступени, равны сумме сопротивлений всех участков до места КЗ на предыдущих элементах сети и дополнительные сопротивления от конца защищаемой линии до места КЗ на предыдущих элементах (вторая ступень) или на предыдущих и последующих периферии в направлении действия дистанционной защиты (третья резервирующая ступень). Дополнительные сопротивления опосредованы коэффициентами токораспределения (отношения токов через анализируемую защиту и через короткозамкнутые участки предыдущих элементов – вторая ступень, – предыдущих и последующих периферий элементов сети – третья ступень). Таким образом, вторая и третья ступени замеряют сопротивления до места КЗ аналогично первой ступени в чистом виде, дополнительные составляющие привносятся с коэффициентами токораспределения. Последние обусловливают некоторую нерегулярную зависимость от токов через анализируемую защиту и токов подпитки, обеспечивающих отличие токов в предыдущих элементах и элементах последующих периферий. Следует, однако, отметить, что названная нерегулярная зависимость не может быть большой, т. к. реализуется через отношение токов, в которых определенная часть помех в операции деления уничтожается.

Вторая особенность определяется тем, что линии, как правило, выполняются полностью из однородных проводов, либо состоят из участков, построенных из разных, но однородных на каждом участке проводов. Поэтому сопротивление каждого участка от его начала до конца линейно нарастает от нуля до всего сопротивления каждого участка. При такой зависимости функции (сопротивления) от ее аргумента (длины) как независимого переменного, который всегда имеет равномерное распределение вероятностей, неслучайная линейная функция может только повторять распределение вероятностей аргумента, т. е. равномерное распределение. Следовательно, распределение вероятностей, например, полного сопротивления каждого из однородных участков линий может быть аппроксимировано равномерным ЗРВ. Поскольку линии в сети связаны с трансформаторами, автотрансформаторами и реакторами при рассмотрении излишних действий РЗ линий необходимы вероятностные распределения параметров реагирования, в том числе и сопротивлений этих компонентов сети. В таком случае целесообразно сопротивления лучей звездных схем замещения трансформаторно-реакторных элементов принять также равномерно распределенными. Основанием такого решения является отсутствие простых регулярных методов расчета электрических величии при КЗ в обмотках электрических машин. Поэтому аппроксимация электрических величин при КЗ должна основываться только на значениях, полученных при КЗ на выводах обмоток данных элементов и, возможно, расчетном центральном узле звездных схем замещения. При таких данных зависимости расчетных электрических величин КЗ в обмотках отражаются двумя значениями при КЗ в

начальном и конечном узлах лучей схем замещения, что обусловливает однозначно линейную зависимость электрических величин от сопротивления этих лучей и соответственно равномерное распределение как всех электрических величин, в том числе и сопротивлений лучей

Третья особенность дистанционных защит – двумерная замкнутая область действия реле сопротивления в координатах активных и реактивных сопротивлений – представляет собой уникальный случай измерительных релейных органов РЗ, при котором возможен учет влияния вида характеристики срабатывания на величину технического эффекта и технической эффективности всей дистанционной защиты. Другие измерительные релейные органы, реагирующие на одну подведенную электрическую величину (реле тока, напряжения, фильтровые реле) представляют собой одну и ту же пороговую схему действия (срабатывания) по достижению и превосходству данного порога (уставки). При использовании таких реле технические эффект и эффективность зависят от вида параметра реагирования или его предварительного функционального преобразования но при сравнении сформированного параметра реагирования с его уставкой никаких функциональных преимуществ в зависимости от технической реализации устройства или системы (электромеханическая, микроэлектронная, микропроцессорная) принципиально нет. В случаях же с реле с двумя подведенными синусоидальными электрическими величинами (реле мощности и сопротивления) имеет место дополнительный эффект, обусловленный сравнением полученных функциональными преобразованиями из замеряемых тока и напряжения и их отношений (сопротивлений) областей в пределах внутренней граничных линий характеристик срабатывания с прямоугольной областью допустимых активных (переходных при КЗ) и реактивных сопротивлений защищаемого объекта. Обсуждаемая особенность дистанционных защит позволяет организовать выбор подходящей или оптимальной характеристики реле сопротивления.

Четвертая особенность дистанционной защиты линии состоит в выборе способа замера сопротивления короткозамкнутой цепи при однофазном КЗ в комплекте защиты от КЗ на землю. Существуют два способа замера сопротивления при КЗ на землю: широко используемый замер отношения фазного напряжения к фазному току, компенсированному током нулевой последовательности, и замер названного отношения без указанной компенсации. В случае компенсации можно подобрать коэффициент, на который умножается утроенный ток нулевой последовательности, так, что отношение по первому способу будет рано сопротивлению прямой последовательности, что обусловливает адекватность действия комплекта дистанционной защиты линии от КЗ на землю комплекту от междуфазных КЗ. Однако значения компенсационного коэффициента зависят от ряда слабо контролируемых или вообще неконтролируемых факторов. Эти факторы обусловлены разным влиянием токов нулевой последовательности соседних фаз и воздушных линий на ток нулевой последовательности замкнувшейся на землю фазы. Токи нулевой последовательности зависят от геометрии и симметрии подвески проводов на опорах, проводимости земли на трассах линий, характера грозозащитных тросов на опорах: изолированы они или заземлены, материала проводов тросов, сближения линии с другими линиями сети и др. Поэтому коэффициент компенсации токов нулевой последовательности, определяемый отношением разности нулевой и прямой последовательности к величине последней, должен оперативно пересчитываться и изменяться в процессе эксплуатации. Прежде всего, это обусловлено сезонными изменениями проводимости земли, перемещениями трасс линий вследствие необычных природных явлений изменения земной поверхности, ремонтов и реконструкции существующих и строительства новых линий. Второй способ замера полного сопротивления до места КЗ без применения компенсации аналогично первому также будет давать разные значения сопротивления при изменении выше перечисленных факторов. Однако различие этих значений в целом будет менее заметным, т. к. при отсутствии компенсации изменяющаяся составляющая сопротивления нулевой последовательности суммируется с сопротивлением прямой последовательности и изменения нулевой последовательности колеблются уже на фоне больших значений. С этой точки зрения способ замеров полных сопротивлений при КЗ на землю без компенсации является предпочтительным.

Влияние изложенных особенностей и факторов необходимо учитывать при разработке математических моделей оценки технической эффективности дистанционных релейных защит линий, а также при разработке новых устройств и систем дистанционных релейных защит линий.

Список литературы

1. Протопопов В.П., Шмойлов А.В. Анализ замеров измерительных реле сопротивления дистанционных защит линий // Современные техника и технологии: матер. XIII междунар. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – Т.1. – С. 99–101.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ РАЗРЯДА

Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., с.н.с.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Gerasimov@tpu.ru

При гашении электрической дуги и отключении тока короткого замыкания (КЗ) в выключателях низкого напряжения происходит взаимодействие плазмы дуги отключения и поверхностью диэлектрического материала в дугогасительной камере. Это приводит к частичной абляции материала поверхности диэлектрика, его термическому разложению, деструкции поверхности и ее загрязнению углеродными продуктами разложения и частицами металла, эродированного с поверхности контактных элементов выключателя. В результате происходит ухудшение диэлектрических свойств поверхности, снижению поверхностного электрического сопротивления и электрической прочности, что является причиной отказов выключателей низкого напряжения [1].

Цель работы – исследование электрической прочности диэлектриков, используемых в дугогасительных камерах выключателей низкого напряжения, непосредственно после воздействия плазмы сильноточной дуги отключения тока КЗ.

В качестве источника тока КЗ использовался колебательный LC-контур, состоящий из мощного емкостного накопителя энергии и реактора (катушка индуктивности), обеспечивающие получение импульса тока КЗ до 25 кА длительностью, соответствующей периоду промышленной частоты f = 50 Гц [2].

Для адекватной имитации процесса отключения тока КЗ в автоматических выключателях, необходимо адекватно воспроизвести приэлектродное падение напряжения на дуге. Это реализовано с помощью макетного устройства с параллельным расположением электродов, которое имитирует условия существования дугового разряда между контактами выключателя [3].

Для определения электрической прочности диэлектриков дугогасительной камеры предложена методика с зондированием диэлектриков высоким напряжением. Зондирующий импульс подавался на электроды, расположенные в исследуемом диэлектрике, непосредственно после воздействия плазмы сильноточной дуги отключения тока КЗ. На рис. 1 показана принципиальная схема определения электрической прочности диэлектриков непосредственно после воздействия плазмы сильноточной дуги отключения тока КЗ.

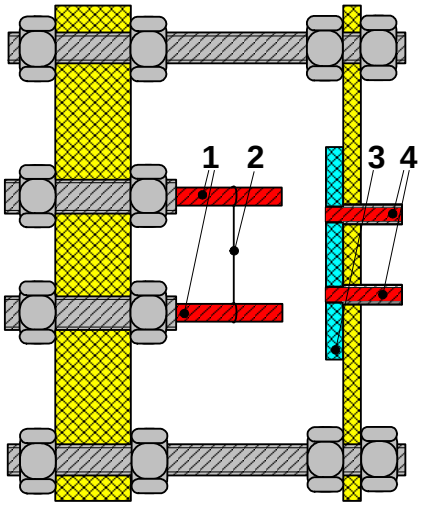


Рис. 1. Принципиальная схема определения электрической прочности диэлектриков непосредственно после воздействия плазмы сильноточного разряда. 1 – электроды сильноточного разряда, 2 – электровзрывающийся проводник, 3 – исследуемый диэлектрик, 4 – электроды зондирующего устройства

Исследования проведены с использованием электродов 1 (рис. 1) из стали. Расстояние от торца электродов до поверхности исследуемого диэлектрика составляло 10 мм. Разряд между электродами инициировался путем электровзрыва проводника 2. В качестве проводника использовалась медная проволочка. Источник зондирующего импульса подключался к электродам 4.

В экспериментах регистрировались рабочий ток $I_1(t)$ и напряжение $U_1(t)$ на сильноточных электродах 2 макетного устройства. Подведенная энергия W определялась интегрированием кривой мощности. Она менялась путем изменения зарядного напряжения $U_{зар}$ от 0,5 до 1,5 кВ. Емкость накопителя энергии $C = 48 \cdot 10^{-3}$ Ф. Кроме того, в экспериментах регистрировались напряжение $U_2(t)$ на зондирующих электродах 4, по которым определялась электрическая прочность диэлектрика, а также ток $I_2(t)$, протекающий по контуру зондирующих электродов. В качестве диэлектрических материалов использовался стеклотекстолит.

На рис. 2 приведены типичные осциллограммы тока $I_1(t)$ и напряжения $U_1(t)$ на сильноточных электродах при отключении тока КЗ, соответствующих зарядному напряжению емкостного накопителя энергии $U_{зар}$ 1,0 кВ.

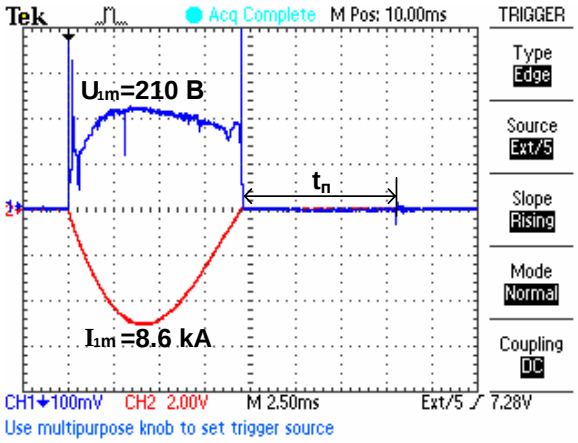


Рис. 2. Типичные осциллограммы тока $I_1(t)$ и напряжения $U_1(t)$ на сильноточных электродах, соответствующих $U_{зар}$ 1,0 кВ, при стеклотекстолитовом диэлектрике. $t_п$ – время паузы (время от окончания протекания тока сильноточного разряда до момента подачи зондирующего импульса)

На рис. 3 представлены сравнительные осциллограммы напряжения $U_2(t)$ и тока $I_2(t)$, при зондировании поверхности диэлектрика (стеклотекстолита) по схеме рис. 1. Источник зондирующего импульса представляет собой накопитель энергии, с емкостью конденсаторной батареи С = 1,0 мкФ. Конденсатор заряжается до напряжения 4,0 кВ от высоковольтного источника постоянного тока. Конденсатор источника электропитания зондирующего импульса коммутируется управляемым разрядником от генератора импульсов с некоторой задержкой, относительно момента времени окончания протекания тока в контуре сильноточного разряда.

Анализ приведенных осциллограмм зондирующего импульса позволяет определить электрическую прочность диэлектрика (стеклотекстолита), а также сопротивление поверхности диэлектрика непосредственно после воздействия плазмы сильноточной дуги отключения тока КЗ. В данном случае, по осциллограммам рис. 3а, через 8,5 мс, а по осциллограммам рис. 3б, через 5 мин.

Видно, что при меньшем времени паузы ($t_п$ = 8,5 мс) пробивное напряжение ниже, по сравнению с напряжением, при времени паузы 5 мин. Также видно, что с увеличением времени паузы сила тока уменьшается, по-видимому, из-за остывания диэлектрика. Кроме того, анализ приведенных осциллограмм позволяет рассчитать сопротивление диэлектрика (стеклотекстолита), и составляет, для $t_п$ = 8,5 мс – R = 165 Ом, а для $t_п$ = 5,0 мин – R = 327 Ом. Следует отметить, что для определения сопротивления диэлектрика рассматривался участок осциллограмм (промежуток времени) до пробоя, т. е. до появления плазменного канала проводимости по поверхности диэлектрика.

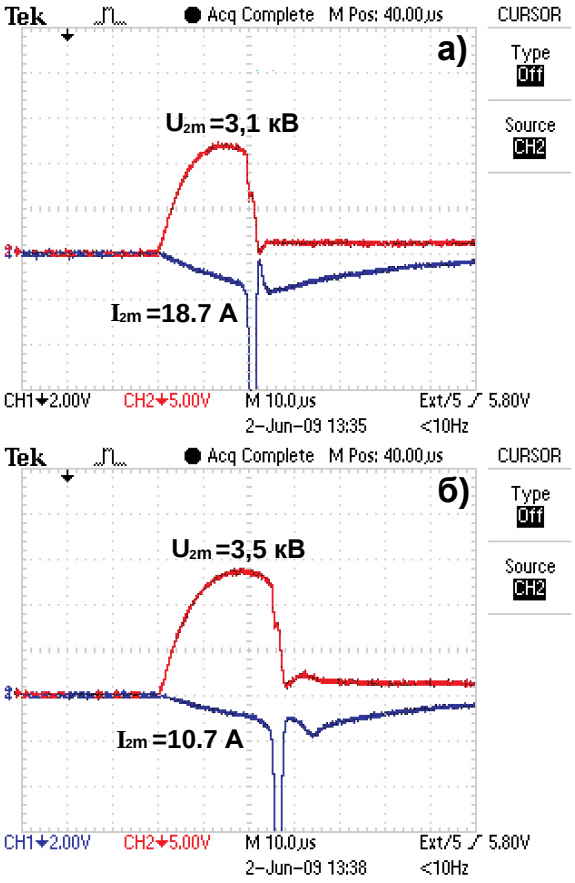


Рис. 3. Осциллограммы напряжения $U_2(t)$ и тока $I_2(t)$; а) $t_п$ = 8,5 мс, б) $t_п$ = 5,0 мин

Заключение

Показана возможность экспериментального определения электрической прочности диэлектриков, используемых в дугогасительных камерах выключателей низкого напряжения, а также исследования его сопротивления, непосредственно после воздействия плазмы сильноточной дуги отключения тока короткого замыкания.

Список литературы

1. Брон О.Б., Сушков Л.К. Потоки плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. – Л.: «Энергия». – 1975. – 211 с.
2. Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д. Источник электропитания для исследования электрической дуги отключения // Современные техника и технологии. XV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых / Сборник трудов в 3-х томах. Том 1. – Томск: Изд-во ТПУ. 4–8 мая 2009. – С. 30–32.
3. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д. Исследование динамики электрической дуги отключения // Материаловедение, технологии и экология в 3-м тысячелетии. Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых (19–21 октября 2009 г., Томск, Россия). – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2009. – С. 45–48.

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ЛАБОРАТОРИИ «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

Юдина К.В.

Научный руководитель: Лукутин Б.В, д. т. н., профессор.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Yudina_KV@sibmail.com

Энергетика, как техническая основа цивилизации, определяет темпы социально-экономического роста стран современного мира. Основой энергетической политики является повышение эффективности энергопотребления и энергосбережения [1]. Одно из основных направлений энергосбережения – это активное использование нетрадиционных и возобновляемых (альтернативных) источников энергии (ВИЭ). Альтернативная энергетика, как совокупность перспективных способов получения энергии, представляет интерес из-за использования при низком риске причинения вреда окружающей среде [2].

Все больший интерес к ВИЭ проявляется со стороны общества, правительственных кругов страны, инвесторов, способствующих более быстрому развитию отрасли. Однако для своевременной реализации программ развития необходима подготовка элитных специалистов в области систем электроснабжения с различными энергоисточниками, в том числе использующими природные возобновляемые энергоресурсы.

В октябре 2007 г. Томский политехнический университет (ТПУ) вступил в международную ассоциацию T.I.M.E (Top Industrial Managers Europe). Продвижение на мировом рынке труда двойного диплома – основная задача данной ассоциации. Кафедра электроснабжения промышленных предприятий (ЭСПП) Электротехнического института (ЭЛТИ) ТПУ имея опыт научно-исследовательских разработок в области альтернативной энергетики, совместно с факультетом Electrical Engineering and Computer Sciences Unikersity of Kassel (DEEC UniKassel) в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ разработали магистерскую программу «Возобновляемые источники энергии». Выпускники ЭЛТИ ТПУ имеют возможность получить степень магистра в родном вузе, а также в Университете г. Касселя.

В 2008 г. на кафедре ЭСПП ЭЛТИ ТПУ магистранты приступили к обучению по данной магистерской образовательной программе. В ходе реализации совместного международного проекта возникли проблемы, связанные с материально-техническим и информационно-методическим обеспечением.

Причиной первой проблемы явилось малое количество на рынке учебной техники предложений специализированного оборудования, моделирующего энергетический комплекс на базе ВИЭ. С целью повышения качества образования, эффективности обучения на кафедре ЭСПП создана современная уникальная лаборатория «Возобновляемые источники электроэнергии», позволяющая обеспечить приобретение практических навыков и развитие компетенций обучаемых в области систем электроснабжения с нетрадиционными способами получения электроэнергии. Лабораторный комплекс представлен физическими моделями ветроэлектростанции (рис. 1), микрогидроэлектростанции, фотоэлектростанции и гибридной ветро-фотоэлектростанции (рис. 2). Каждый лабораторного стенд состоит из имитатора первичного источника электроэнергии (ветер, солнце, вода), имитатора потребителей электрической энергии, накопителей излишков.

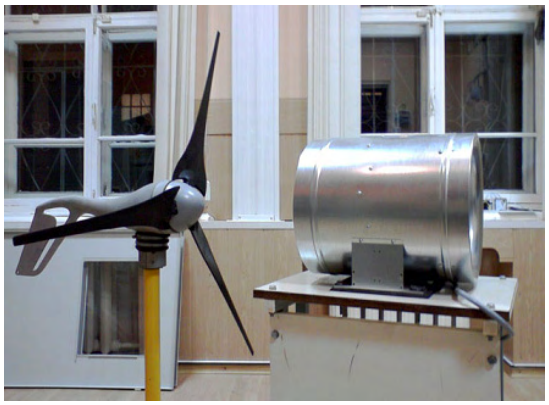


Рис. 1. Ветрогенератор



Рис. 2. Гибридная электростанция, микроГЭС и ветроэлектростанция

Для управления локальными источниками энергии, независимо от их габаритов, потребляе-

мой мощности, уровней напряжения и физического характера процессов в блоках ВИЭ, применяется Лабораторное Автоматизированное Рабочее Место (ЛАРМ). Таким образом, ВИЭ с позиции автоматизации и управления можно считать полностью или частично автоматизируемыми объектами, с сосредоточенными в пространстве блоками их структуры. Уникальность приобретенного оборудования заключается в том, что оно разработано по специальному проекту заказчика. При разработке учитывался тот факт, что данный моделирующий комплекс установок должен обладать большими потенциальными возможностями для исследований, проводимых магистрантами.

Вторая проблема связана с информационно-методической оснащенностью. Подготовка компетентных магистров обуславливает необходимость использования современных образовательных технологий, а именно новых методических подходов, реализуемых на основе продуктивных методов обучения, таких как проблемно-ориентированный и исследовательский. Поскольку данные методы развивают комплекс профессиональных (в области исследовательской деятельности студент будет способен планировать и проводить научные исследования по проблемам внедрения и использования нетрадиционных источников электроэнергии), инструментальных (навыки управления информацией), межличностных компетенций (способность работать в международной среде) [3].

Данная комплексная система работы студентов позволяет освоить в процессе обучения способы деятельности, которые могут быть задействованы в дальнейшем при выполнении научных, исследовательских и проектно-конструкторских разработок. [4]. Таким образом, работа с учебным оборудованием новой лаборатории имеет научно-исследовательский характер, что является хорошей базой для написания магистерской диссертации.

Нехватка сопутствующей учебной литературы – одна из трудностей, с которой сталкиваются учащиеся при изучении специальных дисциплин магистерской подготовки. Большинство литературы носит обзорный характер, а интернет-ресурсы – рекламный, не отображая современного состояния альтернативной энергетики. Отечественные источники недостаточно глубоко описывают ряд вопросов соответствующей тематики, а зарубежную литературу не всегда удается адаптировать. Поэтому магистранты принимают участие в пополнении информационной базы. Так обучающиеся являются активными участниками собственного образовательного процесса.

Для успешной адаптации продуктивных образовательных технологий в учебном процессе преподаватели кафедры повышают квалификацию по дополнительной образовательной программе «Преподаватель высшей школы».

Решение вышеперечисленных проблем позволило магистрантам провести первые исследования на физических моделях в ходе изучения дисциплин «Микрогидроэлектростанции», «Солнечная энергетика и фотоэлектростанции», «Ветроэлектростанции», «Исследование и моделирование систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии».

Развитие материально-технической базы лаборатории продолжается. В рамках приоритетного направления развития (ПНР 2) лаборатория получит новый материальный импульс и в дальнейшем, возможно, перерастет в Центр Возобновляемой энергетики ТПУ.

Список литературы

1. Березкин М.Ю. Возобновляемая энергетика в постиндустриальном обществе / Мат. науч. молодежной школы «Возобновляемые источники энергии». Москва, 2000. – С. 75–79.
2. Принципы перехода России к устойчивому развитию. // Международная конференция «Устойчивое развитие: природа–общество–человек», 5–7 июня 2006 г., Москва, 2006, 24 с.
3. Берестнева О.Г., Козлова Н.В. Развитие профессиональных компетенций специалиста в условиях модернизации российского образования // Модернизация российского образования. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – Т. XVII. – (Труды, прил. к журн. «Философия образования»). – С. 11–16.
4. Писаренко С.Б., Ларионов В.В. Новая концептуальная модель физического практикума технических университетов. Известия ТПУ. – № 6. – Том 309. – 2006. – С. 231–237.
5. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П.П.Безруких, Ю.Д.Арбузов и др.; под ред. П.П.Безруких. – СПб: Наука, 2002. – 314 с.
6. Степанова О.М., Козлова Н.В., Крючков Ю.Ю., Соловьев М.А. Внедрение проблемно-ориентированных технологий в практику обучения студентов технических вузов. Известия ТПУ. – №1. – Том 309. – 2006. – С. 242–247.
7. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии: Учебник/С.Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.

ОСНАЩЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ АЭРОДРОМОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАТЕГОРИИ И КЛАССА АЭРОДРОМА

Юмахин Д.Ю.

Научный руководитель: Султанов Н.З., д.т.н., профессор.

Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13
e-mail: 209618@mail.ru.

Международные аэродромы гражданской авиации (далее аэродромы) являются довольно сложными и требовательными потребителями электроэнергии, которые в своих системах довольно часто используют специализированное оборудование, не применяемое в других отраслях промышленности [1].

От класса обслуживаемых аэродромом воздушных судов и от класса аэродрома зависит состав необходимого аэродромного оборудования. Чем выше класс эксплуатируемых ВС тем выше требования к аэродромному обеспечению, а следовательно и к системам электросветотехнического обеспечения полетов (ЭСТОП). Наиболее важными параметрами аэродрома, от которых зависит уровень его оснащения средствами ЭСТОП, являются категория оборудования взлетно-посадочной полосы (ВПП) и класс аэродрома по годовому объему пассажирских перевозок.

По классификации ICAO существуют 5 категории оборудованных ВПП – I, II, IIIa, IIIb, III с.[2]

I – предназначена для захода на посадку с высотой принятия решения не менее 60 метров и, при дальности видимости на ВПП не менее 550 м.

II – предназначена захода на посадку с высотой принятия решения менее 60 метров, но не менее 30 метров и при дальности видимости на ВПП не менее 350 м.

III – подразделяется на три подвида и в принципе предназначены для захода на посадку в автоматическом режиме без ограничения по высоте принятия решения и дальности видимости на ВПП менее 200 метров.

По годовому объему пассажирских перевозок различают семь классов аэродромов.

В соответствии с «Нормами годности к эксплуатации аэродромов» (НГЭА СССР) и требованиями ИКАО, электроснабжение аэродромов, оборудованных средствами точного захода на посадку по метеоминимумам I, II, III категории, должно осуществляться не менее чем от двух внешних независимых источников, а при их отсутствии от электростанций аэропорта с количеством установленных агрегатов не менее двух. [3] Данное требование необходимо вследствие наличия на территории аэропорта объектов с электроприемниками первой категорий и первой категории особой группы, по надежности электроснабжения.

По надежности электроснабжения к объектам первой категории и первой категории особой группы относятся объекты, непосредственно влияющие на безопасность и регулярность полетов. Это, в первую очередь, объекты управления воздушным движением, системы аэронавигационного и светосигнального оборудования аэродрома. Допустимый перерыв в их электроснабжении находится в пределах от 0 до 60 секунд. Если учесть что таких объектов на территории аэропорта несколько десятков, а сети распределения электроэнергии многих аэропортов морально и физически изношены, то возникает проблема организации работ по выполнению нормативных требований по надежности электроснабжения.

В настоящее время, когда системы электроснабжения аэропортов требуют значительной реконструкции, довольно актуально создание нормативной документации по оснащению аэродромов средствами ЭСТОП, с учетом новейших разработок в области электроэнергетики и автоматики. На первом этапе необходимо определить минимальные требования к основным техническим средствам ЭСТОП, каковыми являются:

- система централизованного снабжения электроэнергией;
- система светосигнального оборудования аэродрома;
- система производства диагностики, испытаний и измерений электрооборудования.

Для определения требований к данным системам необходимо выделить их основные технические характеристики.

Для системы централизованного снабжения электроэнергией – это схема электроснабжения, обладающая заданной гибкостью, надежностью, простотой управления и обслуживания.

Для системы светосигнального оборудования – категория установленного оборудования, от которого зависит способность аэродрома производить полеты в сложных метеоусловиях.

Для системы производства диагностики, испытаний и измерений электрооборудования – наличие и оснащенность электротехнической лаборатории, от которой зависит качественное и своевременное производство технического обслуживания, планово-предупредительных и ремонтных работ в электроустановках.

Таблица 1

Оснащение международных аэродромов гражданской авиации системами ЭСТОП в зависимости от категории оборудования ВПП и класса аэродрома по годовому объему пассажирских перевозок

№ п/п	Параметры Аэродрома		Требования к основным средствам ЭСТОП		
	Класс аэродрома по объему пассажирских перевозок	Категория оборудования ВПП с каждого курса посадки	Категория ССО с каждого курса посадки	Схема электроснабжения объектов аэродрома на стороне среднего напряжения	Наличие и тип Электротехнической лаборатории
1	2	3	4	5	6
1	Внеклассный (более 10 млн чел.)	IIIc– IIIc	IIIc– IIIc	4 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, двухконтурная кольцевая схема электроснабжения с разрывом.	Есть, до и выше 1000 В
2	V класс (7–10 млн чел.)	IIIc– IIIb	IIIc– IIIb	3 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, двухконтурная кольцевая схема электроснабжения с разрывом.	Есть, до и выше 1000 В
3	IV класс (4–7 млн чел.)	IIIb– IIIa	IIIb– IIIa	3 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, двухконтурная кольцевая схема электроснабжения с разрывом.	Есть, до и выше 1000 В
4	III класс (2–4 млн чел.)	IIIa– II	IIIa– II	2 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, двухконтурная кольцевая или петлевая схема электроснабжения.	Есть, до 1000 В
5	II класс (0,5–2 млн чел.)	II– I	II– I	2 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, двухконтурная кольцевая или петлевая схема электроснабжения.	Есть, до 1000 В
6	I класс (0,1–0,5 млн чел.)	I– I	I– I	2 внешних, раздельных источника питания + резервный на каждом объекте, петлевая схема электроснабжения.	Есть, до 1000 В
7	Неклассифи–цируемый (менее 0,1 млн чел.)	I– некат.	I– некат.	1 внешний источник питания + 1 (или 2) резервный(ых) источника питания, петлевая схема электроснабжения.	Нет, измерения может производить оперативный персонал

На основании проведенного анализа аэродромов РФ, предлагается оснащение международных аэродромов гражданской авиации системами ЭСТОП производить в зависимости от категории оборудования ВПП и класса аэродрома по годовому объему пассажирских перевозок (Таблица 1).

В заключение хотелось бы отметить, что задачи, стоящие в настоящее время перед службой ЭСТОП, аэродромов гражданской авиации довольно специфичны, а возникающие в процессе деятельности проблемы можно решать эффективнее, за счет внедрения современного интеллектуального электроэнергетического оборудования и автоматизированных систем, что и является целью моего дальнейшего диссертационного исследования.

Список литературы:

1. Международная Организация Гражданской Авиации. Руководство по проектированию аэродромов. Ч. 5. Электрические системы. Издание первое. 1983. – 96 с.
2. Международная Организация Гражданской Авиации. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов. 4-е изд. М: июнь 2004. – 272 с.: ил. ISBN 92-9194-315-7.
3. Нормы годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА 92)., 94 стр., ил., 1992 г.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ЧЕЛОВЕКА И ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВА АВАРИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ПОВРЕЖДЕНИИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ

Юрченко Е.Ю., Лежнев А.Ю., Шалимов И.В.

Южно-Уральский Государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76
E-mail: Katerina_bgd07@mail.ru

В настоящее время в связи с расширением и благоустройством территории городов, значительным износом электрооборудования и инженерных сетей растет число земляных работ. Работы, связанные с монтажом и ремонтом подземных коммуникаций (теплотрассы, водопроводных и газовых труб, кабелей связи, кабельных линий (КЛ)), а также с подъёмом грунта в охранной зоне КЛ, представляют опасность как для здоровья и жизни персонала, проводящего работы, и населения, так и для нормального функционирования электрооборудования.

По статистическим данным об эксплуатации городских кабельных сетей 6 (10) кВ [1] до 20% от числа всех повреждений КЛ приходится на механические, т. е. порывы КЛ механизмами или лопа-

той, при которых сначала происходит непредусмотренное нормальным режимом электрическое соединение фаз между собой или соединение фаз с землёй, а затем обрыв. В результате, помимо влияния на человека электромагнитных полей возникают дополнительные вредные и опасные производственные факторы: электрическая дуга, шаговое напряжение, шумовое и психологическое воздействие. По мнению специалистов и исследователей в области электробезопасности [2] наиболее опасным является процесс непосредственного протекания тока через тело человека, проявляющийся:

• в термическом действии – ожоги отдельных участков тела, нагрев до высоких температур внутренних тканей человека, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства;

• электролитическом действии – разложение органической жидкости, в том числе и крови, что вызывает значительные нарушения их физико-химического состава;

• механическом действии, приводящем к разрыву тканей и переломам костей;

• биологическом действии – раздражение и возбуждение живых тканей в организме, а также нарушение внутренних биоэлектрических процессов, присущих нормально действующему организму. С биологической точки зрения, исход поражения человека электрическим током может быть следствием тех физиологических реакций, которыми ткани отвечают на протекание через них электрического тока.

Основная причина возникновения механических повреждений КЛ заключается в несогласованности мероприятий по проведению земляных работ с предприятиями, обслуживающими электрические сети. Проведение земляных работ в охранной зоне КЛ таит в себе две основные опасности:

• непосредственно порыв кабеля или касание токоведущих частей кабеля механизмами землеройной техники,

• частичное повреждение защитных оболочек кабеля, не приводящее к пробою изоляции.

В первом случае бригада рабочих (не обязательно электротехнический персонал), попадает под действие электрической дуги или оказывается под воздействием шагового напряжения. Рабочие, контролирующий персонал или прохожие, не имеющие специальных средств индивидуальной защиты, таких как: одежда из дугостойкой ткани, выдерживающая сильное термическое воздействие дуги, изолирующие боты и каска с защищающим лицо стеклом, диэлектрические перчатки, могут получить тяжёлые ранения с летальным исходом. Трагический пример [3], иллюстрирующий степень опасности, произошёл летом с машинистом катка, который, забивая металлический штырь для укладки бордюрного камня, попал в действующий кабель, находившийся под напряжением и нагрузкой. С ожогами более 50 % поверхности тела рабочий доставлен в областной ожоговый центр.

По результатам расследования тяжёлого несчастного случая, проводимого Комиссией управления по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора во взаимодействии с Государственной инспекцией, выявлены причины, повлекшие за собой данный инцидент: отсутствие письменного согласования с владельцем электрических сетей на проведение работ в охранной зоне КЛ напряжением 10 кВ; отсутствие оформленного акта-допуска на проведение работ в охранной зоне КЛ; недопустимо малая (0,15 м) глубина закладки КЛ в месте несчастного случая; отсутствие оповещения организаций и населения о месте прохождения КЛ и порядке производства работ в охранных зонах электрических сетей.

С другой стороны, протекание больших аварийных токов приводит к термическому разрушению изоляции электрооборудования. На практике известны случаи полного выгорания нескольких городских трансформаторных подстанций напряжением 6 / 0,4 кВ при порыве одной высоковольтной КЛ. Таким образом, возникающие аварии приводят к нарушению электроснабжения потребителей и к значительным материальным затратам.

Помимо непосредственного порыва кабеля при проведении земляных работ в охранной зоне кабеля с применением специальной техники – экскаватора, ямобура, баровых грунторезных машин, грузоподъёмных механизмов и др. – происходит уплотнение грунта, что может вызвать деформацию и / или проколы защитных оболочек кабеля, а также возможны случаи вытягивания кабеля из траншеи. Возникающие растягивающие силы приводят к частичному разрушению изоляции, которое будет в дальнейшем выявлено в работе или во время плановых испытаний и повлечёт за собой отключение и ремонт КЛ. Степень повреждения будет определять остаточный ресурс изоляции. При этом нельзя точно сказать, когда и как произошло повреждение. На основании расчёта интенсивности отказов по статистическим данным о первом пробое изоляции кабелей при рабочем напряжении [4, 5] определено, что время выявления грубых дефектов изоляции с низкой начальной прочностью составляет до трёх лет. В этот период происходит до 15 % повреждений изоляции кабеля в работе в ранее неповреждённом месте, причём, из них 55 % происходит в период до 1,5 лет.

Механические повреждения качественно оцениваются при сравнении КЛ, проложенных параллельно в один год, в одной траншее, изначально одной марки и сечения. На рис. 1 представлен эскиз места прокладки в 1994 г. двух КЛ марки ААШв 3х150 параллельно дороге без асфальтового покрытия. Первое повреждение изоляции кабеля 2 произошло 18.10.1995 г. через год после про-

кладки. При восстановлении кабеля в октябре месяце в увлажнённом грунте в местах, где проезжала спецтехника, произошла усадка грунта, что, вероятно, привело к опасным механическим напряжениям в оболочках кабеля. В результате через 5 дней 23.10.1995 г. рядом происходит пробой изоляции в целом месте. Ещё через год на этом же участке трассы определено сразу 4 места повреждения изоляции, в результате чего весь участок кабеля был заменён. Причинами высокой повреждаемости могут быть либо заводской дефект, либо частичное разрушение оболочек. После замены кабеля через три, а затем через два года пробои изоляции повторяются. Поэтому наиболее вероятно полагать, что причина выхода из строя кабеля заключается в механическом повреждении оболочек КЛ из-за деформации грунта при земляных работах в весенне-осенний период и несоблюдения правил проведения работ подрядными организациями. Кабель 1 повреждений на этом участке трассы не имеет.

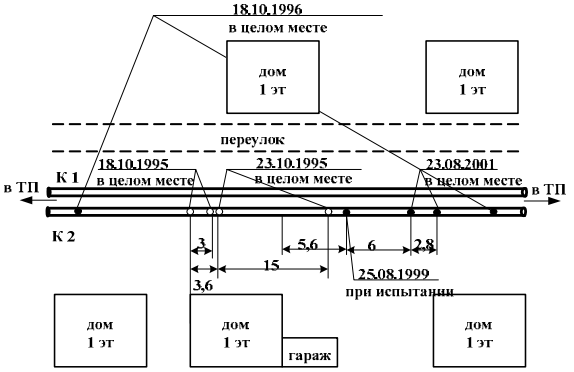


Рис. 1. Эскиз кабельной трассы

Возникающие перечисленные выше аварийные ситуации приводят как к человеческим жертвам, что недопустимо, так и к огромным финансовым затратам. Основная сложность при оценке аварийности КЛ из-за механических повреждений изоляции заключается в том, что порывы кабеля являются случайным процессом, который невозможно спрогнозировать на перспективу. Таким образом, задача снижения уровня механических повреждений является организационной, связанной с проведением дополнительных инструктажей рабочего персонала перед производством работ, с согласованием земляных работ с персоналом электрических сетей, проведением работ в присутствии их представителя, а также дополнительная защита спецтехники, способная препятствовать ошибочным действиям людей.

Список литературы

1. Юрченко Е.Ю., Коржов А.В. Мониторинг состояния изоляции силовых кабельных линий в процессе эксплуатации // Современные техника и технологии: XIII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных: сб. материалов. – Томск: ТПУ, 2007. – Т. 1. – С. 138–140.
2. Сидоров А.И. Основы электробезопасности: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.
3. В Саратове завершено расследование несчастного случая на ООО «Викинг-А.Ю» // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – http://www.gosnadzor.ru/news_otr/072007/no27-8.html.
4. Юрченко Е.Ю., Коржов А.В. Статистические показатели надёжности элементов кабельных линий 6 – 10 кВ // Современные техника и технологии: XIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных: сб. материалов. – Томск: ТПУ, 2008. – Т. 1. – С. 123–125.
5. Федосенко Р.Я. Надёжность кабельных линий 6–10 кВ. – М.: Энергия, 1972. – 73 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И СИСТЕМ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Якунин С.С., Мурзин Е.С.

Научный руководитель: Дорофеев С.Ю., аспирант

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: Kandebr@sibmail.com

Предприятия, ведущие разработки без САПР или лишь с малой степенью их использования, оказываются неконкурентоспособными как из-за больших материальных и временных затрат на проектирование, так и из-за невысокого качества проектов. Автоматизация всех сфер деятельности проектных организаций является на данный момент достаточно актуальной задачей.

В данной работе рассматривается существующее программное обеспечение Rubius Electric Suite, созданное на базе СКБ «Рубиус» в рамках партнёрства с ЗАО «АСКОН» и ООО «Рубиус Групп». В настоящий момент в линейку Rubius Electric Suite входят следующие библиотеки:

- библиотека проектирования линий электропередачи 6(10) кВ;
- библиотека проектирования линий электропередачи 0,4 кВ;
- библиотека проектирования систем молниезащиты.

Все библиотеки подключаются как к системе КОМПАС (АСКОН), так и AutoCAD (AutoDesk).

Библиотека проектирования линий электропередачи 6(10) кВ «Rubius Electric Suite: ЭВ 6(10) кВ». Внешний вид представлен на рис. 1.

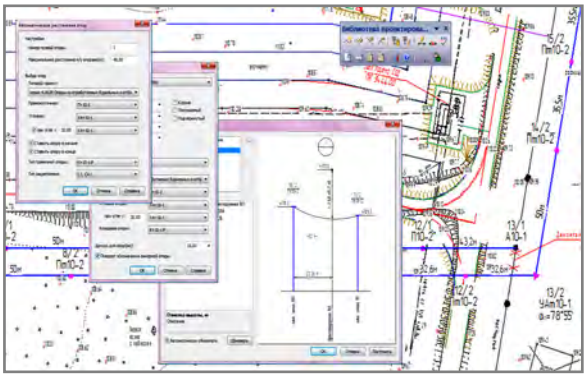


Рис. 1. Rubius Electric Suite: ЭВ 6(10) кВ

Рассмотрим основные возможности библиотеки.

Проектирование трассы на плане. На чертеже воздушная линия электропередачи (ВЛ) представляет собой полилинию с атрибутивной информацией. Проектировщик может задавать для каждого участка ВЛ определённые типы кабелей и тип прилегающей местности (болото, просека и др.).

Расстановка опор вдоль трассы ВЛ в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Перед расстановкой опоры в полуавтоматическом режиме необходимо задать свойства опоры и затем указать её место на ВЛ. Автоматический режим заключается в том, что пользователь задаёт стартовый начальный номер опоры, максимальное расстояние между опорами, типы опор, которые будут поставлены в пролётах ВЛ и др. После пользователь указывает начальную и конечную точку на трассе ВЛ и опоры расставляются автоматически согласно заданным настройкам.

Пересечения трассы ВЛ с различными инженерными сооружениями, водоёмами. Важной частью библиотеки является возможность указать на чертеже места пересечения трассы прохождения ВЛ с какими-либо инженерными сооружениями (дорога, железная дорога и т. д.). При построении пересечения программа автоматически рассчитает расстояния от опор до пересекаемых объектов, от проводов до пересекаемых объектов с учётом провисания провода и другие параметры. Особенностью программы является возможность построения неограниченного числа пересечений.

Автоматическая генерация выходной документации:

- построение постоянного отвода земли под опоры ВЛ и формирование ведомости отвода;
- подготовка задания на составление смет;
- подготовка заказной спецификации установленного образца на основе выбранных чертежей;
- возможность экспорта документации в Microsoft Office (Word и Excel).

Кроме перечисленных, библиотека обладает следующими возможностями: вывод отводов, закрепление и отображение оборудования на опоре, вывод расстояний, функции редактирования трассы ВЛ и опоры, перенумерации, работы с сегментами и др.

Библиотека проектирования линий электропередачи 0,4 кВ «Rubius Electric Suite: ЭВ 0,4 кВ». Библиотека содержит в себе, помимо типовых проектов, применяемых для проектирования ВЛ 0,4 кВ, следующие расчётные модули:

- механический расчет проводов;
- расчет сечения провода;
- расчет заземления;
- расчет потерь напряжения.

При разработки библиотек проектирования ВЛ были использованы следующие нормативные документы: ГОСТ 21.614-88; ГОСТ 2.106-96; ПУЭ 7 изд.; СНиП 3.05.06-85; ВСН 62-84; РД 34.51.101-90; ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00; РД 153-34.3-35-125-99; №14278 тм-т1; Постановления Правительства РФ №160 от 24.02.2009 и №486 от 11.08.2003.

При разработке библиотек проектирования линий электропередачи проводился обзор аналогов. Одни из известных программных комплексов, предназначенных для автоматизации проектирования ВЛ «Model Studio CS ЛЭП» и «ЛЭП 2009» отличаются тем, что работают только в среде AutoCAD, выполняют расстановку опор только по профилю (без возможности расстановки по плану), имеют достаточно сложный интерфейс. Кроме того, они не предназначены для проектирования ВЛ 0,4–10 кВ.

Программа САПР-0,4 (Украина), предназначенная для проектирования ВЛ 0,4 кВ не соответствует стандартам РФ, не переведена на русский язык, обладает неудобным интерфейсом и не позволяет работать с планами, не интегрируется ни в AutoCAD, ни в КОМПАС.

Программа LineCross автоматизирует только расчёты, не позволяет работать с планами.

Дальнейшее развитие библиотек для проектирования ВЛ из линейки Rubius Electric Suite планируется в следующих направлениях:

- создание библиотеки для проектирования ВЛ-35 кВ (аналогично ЛЭП-2009);
- расширение базы типовых проектов, разработка редактора базы объектов типовых проектов (справочника типовых проектов);
- доработка программ по желанию заказчика.

Библиотека проектирования систем молниезащиты «Rubius Electric Suite: МЗ». Внешний вид представлен на рис. 2.

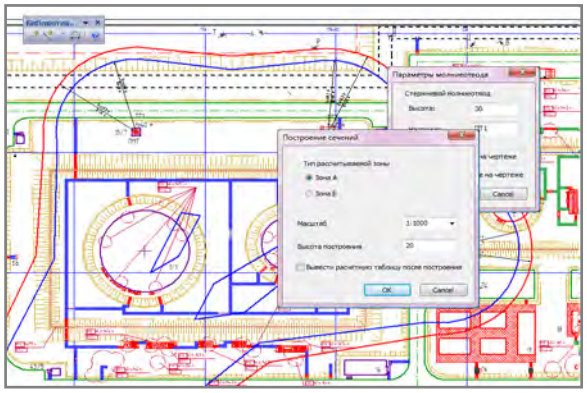


Рис. 2. Rubius Electric Suite: МЗ

Возможности библиотеки:

• установка стержневых и тросовых молниеотводов на плане;

• расчет зон защит молниеотводов от стержневых и тросовых молниеотводов согласно РД 34.21.122-87 «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений»);

• построение горизонтальных и вертикальных сечений зон на различных высотах;

• расчет замкнутых тросовых молниеотводов;

• вывод результатов расчета в табличном варианте.

Рассмотрим аналоги библиотеки проектирования систем молниезащиты «Rubius Electric Suite: МЗ».

Программа ElectriCS Storm обладает сложным интерфейсом (ввод исходных данных требует значительных временных затрат), работает только в AutoCAD.

В программе Lightning Defence 1.0 реализовано недостаточное количество функциональных возможностей, к тому же, она также работает только в AutoCAD.

Программа Молниезащита не позволяет осуществлять построение защитных зон и сечений, все расчёты производятся только по РД.

Дальнейшее развитие модуля «Rubius Electric Suite: МЗ» планируется в следующих направлениях:

• расчет зон защит молниеотводов от стержневых и тросовых молниеотводов согласно инструкции СО 153-34.21.122-2003;

• расчет взаимного влияния молниеотводов при их нестандартном расположении по методикам РД 34.21.122-87 и СО 153-34.21.122-2003.

Таким образом, описанная линейка Rubius Electric Suite направлена на следующие аспекты проектной деятельности:

• стандартизация процесса подготовки чертежей, карт, планов;

• сокращение сроков разработки за счёт уменьшения рутинных операций;

• увеличение производительности труда;

• оптимизация численности персонала и фонда оплаты труда;

• повышение качества выпускаемой документации за счет улучшения информативности и визуального восприятия;

По результатам проделанной работы подана заявка на регистрацию программного обеспечения. В настоящий момент Rubius Electric Suite внедрена в следующие организации: ГУП «O'zGEOTEXLITI», филиал МРСК «Ульяновские РС», ООО «Теплоэнерго-Комфорт», достигнуто соглашение с ОАО «ТатНефть».

Кроме доработки существующих библиотек из линейки Rubius Electric Suite, планируется создавать программные решения для других сфер электротехнической деятельности (освещение, трубопроводы, кабели и др.).

СЕКЦИЯ 2

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ОТСТРОЙКА ОТ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ

Алимов Д.В.

Научный руководитель: Гольдшейн А.Е., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: alimov_dima@mail.ru

Введение

В настоящее время во многих отраслях промышленности используются защитные непроводящие покрытия. Основными функциями покрытия являются коррозионная защита, долговечность, хороший внешний вид изделия и т. д. Одним из основных показателей качества покрытия является его толщина, от правильного выбора которой зависит эффективность защитной функции покрытия. Действия, направленные на повышение точности измерений толщины покрытий для улучшения защиты от коррозии, приносят существенную экономическую выгоду.

Для контроля толщины покрытий используют толщиномеры покрытий, основанные на разных принципах действия. В настоящий момент для измерения толщины электропроводящих и ферромагнитных объектов широко применяются неразрушающие методы, такие как вихретоковый и магнитный.

Толщина немагнитных покрытий может быть измерена магнитными толщиномерами. Для измерения толщины диэлектрических покрытий на электропроводящих материалах используют вихретоковые толщиномеры. Наиболее популярными являются МТП-1, МТ-201 и ТМ-2.

Родственной задачей определения толщины покрытий является измерение зазора между измерительным устройством и контролируемым объектом. В частности это можно использовать для контроля несоосности.

Преимущество бесконтактных методов измерений очевидно, но, к сожалению, точность измерений ухудшается при увеличении расстояния от измерительного устройства до контролируемого объекта.

Одной из основных проблем при измерении, является влияние края объекта контроля (краевой эффект). В большинстве случаев измеряемый объект имеет сложную форму и очень сложно учесть влияние края. Когда же объект имеет простую форму, как пластина, существует возможность оценки влияния края и внесения коррекции в результат измерения, что и рассматривается в данной работе.

Метод измерения

В качестве метода измерения при исследовании используется вихретоковый метод.

Данный метод основан на возбуждении в проводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется обмотка с током.

Переменный ток, действующий в обмотке, возбуждает электромагнитное поле, которое взаимодействует с электропроводящим объектом. Если материал объекта обладает электропроводностью, на его поверхности появляются вихревые токи, которые, в свою очередь, воздействуют на обмотку, наводят в ней ЭДС или изменяют её активное и индуктивное сопротивление.

Измерение параметров поля с помощью отдельной измерительной обмотки называется трансформаторным преобразованием, а измерение с помощью того же контура, который возбуждает переменное магнитное поле – параметрическим преобразованием.

Параметры вихревых токов зависят от геометрических размеров и формы электропроводящего объекта, электрических и магнитных характеристик материала, его однородности, взаиморасположения объекта и обмотки возбуждения, размеров и формы обмотки возбуждения, частоты и амплитуды тока возбуждения.

Конструкция преобразователя

На рис. 1 представлена конструкция вихретокового преобразователя.

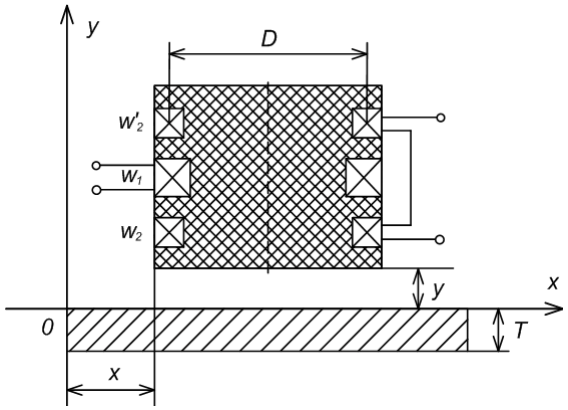


Рис. 1. Конструкция вихретокового преобразователя

Преобразователь имеет круглое сечение и состоит из трёх обмоток: обмотки возбуждения w_1, измерительной обмотки w_2 и компенсирующей обмотки w'_2. Каждая обмотка имеет по 300 витков.

Наружный диаметр обмоток равен 36 мм, внутренний диаметр равен 30 мм. Средний диа-

метр обмоток D равен 33 мм. Величина зазора между преобразователем и пластиной равна y, а толщина пластины равна T. Частота тока возбуждения ω в обмотке w_1 равна 1 кГц. Расстояние преобразователя от края пластины равно x.

Для исключения из сигнала измерительной обмотки его неинформативной составляющей – начального напряжения предусмотрены следующие конструктивные и схемотехнические меры.

В блоке обмоток кроме обмотки возбуждения w_1 и измерительной w_2 имеется дополнительная компенсирующая обмотка w'_2, идентичная w_2 и расположенная симметрично относительно w_1 (рис. 1).

Обмотки w_2 и w'_2 включены последовательно, встречно, их суммарное начальное напряжение равно нулю. Наличие проводящего объекта вызывает появление вносимого напряжения измерительной обмотки и практически не изменяет сигнала компенсирующей обмотки, расположенной значительно дальше от объекта.

Измерения

Влияющими параметрами вихретокового преобразователя являются величина зазора между преобразователем и пластиной и расстояние края преобразователя от края пластины.

Выходной величиной является амплитуда постоянного напряжения U_{amp} равная:

$$U_{amp} = \sqrt{(\mathrm{Im}\dot{U}_{вн})^2 + (\mathrm{Re}\dot{U}_{вн})^2}$$

где $\mathrm{Re}\dot{U}_{вн}$ – действительная составляющая; $\mathrm{Im}\dot{U}_{вн}$ – мнимая составляющая вносимого напряжения.

Найдем зависимость амплитуды напряжения U_{amp} от расстояния до края x при разных значениях зазора y.

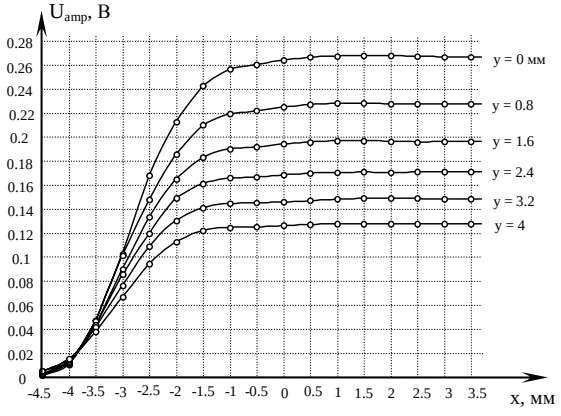


Рис. 2. Графики зависимости напряжения U_{amp} от расстояния до края x при разных значениях зазора y

Данные графики зависимости с малой погрешностью аппроксимации можно представить функцией вида:

$$y = a\left[1 + (d-1)e^{-k(x-xc)}\right]^{1/(1-d)}, d \neq 1, \qquad (1)$$

где a, xc, d, k – коэффициенты, $a > 0$, $k > 0$.

Численными методами была оценена погрешность отклонения графика найденной функции от графика результатов измерений для зазора y.

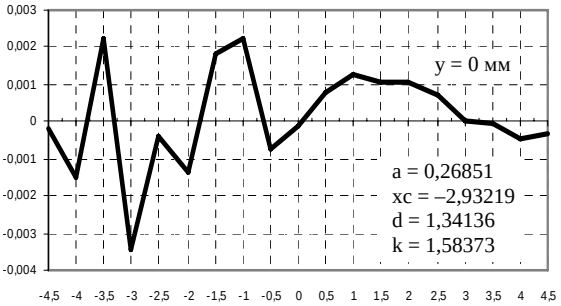


Рис. 3. Погрешность аппроксимации

Из графика видно, что функция 1 описывает зависимость с высокой точностью, а ошибка аппроксимации определяется случайной погрешностью измерения, определяемой погрешностью средства измерения.

Заключение

Нами были проведены исследования краевого эффекта при реализации вихретокового метода измерения толщины непроводящих покрытий на электропроводящей пластине.

Используя вихретоковый датчик, конструкция которого была описана, были проведены измерения и определены зависимости результатов измерений от расстояния до края при разном значении зазора. Полученные зависимости носят закономерный характер и могут быть определены аналитически. Была найдена функция, описывающая эти зависимости. Численными методами оценена ошибка аппроксимации найденной функции.

Используя полученные результаты можно совершать отстройку от влияния краевого эффекта. Полученную функцию можно записать в программу микропроцессора, таким образом, программно компенсировать влияние краевого эффекта.

Полученные результаты могут быть полезны для дальнейших исследований. На их базе возможно создание измерительных систем с компенсацией краевого эффекта.

Список литературы

1. Физические основы измерительных преобразований: учебное пособие / А.Е. Гольдштейн. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 253 с.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль / под редакцией В.В. Сухорукова. – М.: Высшая школа, 1992. – 312 с.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник. В 2 книгах. кн. 2 / под редакцией В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОММУТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ануфрик М.С., Пенкин Д.Г.

Научный руководитель: Печаткин А.В., к.т.н., и.о. зав. кафедрой

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева, 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53, тел/факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Испытания систем автоматического управления (САУ) газотурбинных двигателей (ГТД) является одним из этапов испытаний ГТД. Возрастающие требования к надежности, функциональности и компактности САУ предъявляют новые требования к программам, методикам и видам испытаний САУ [1, 2]. Одним из видов испытаний является имитация неполадок датчиков, линий связи и исполнительных механизмов.

Интерес представляет реакция САУ на короткое замыкание, дребезжащий контакт, обрыв датчика или линии связи, а также, на обрыв или короткое замыкание силовой цепи управления.

В связи с этим, актуальна разработка технологического устройства – программируемого коммутатора сигналов, имитирующего данные неисправности датчиков, линий связи и исполнительных элементов.

Программируемый коммутатор сигналов, несомненно, представляет интерес для авиадвигателестроительных предприятий России, занимающихся разработкой, испытаниями и производством САУ и авиационных ГТД.

Современные тенденции двигателестроения указывают о необходимости установки САУ на самом двигателе, тем самым уменьшается длина линий связи и повышается надежность САУ. В связи с этим программируемый коммутатор сигналов для испытания САУ ГТД должен работать в непосредственной близости от двигателя – в испытательном боксе, а управление должно осуществляться дистанционно из пультового помещения стенда с персонального компьютера (ПК) инженера-испытателя [2].

Условия эксплуатации программируемого коммутатора сигналов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12997. Допускается наличие пыли и агрессивных примесей.

Измерительный сигнал с датчиков всегда передается по двум проводам на САУ. Сигнал управления является сигналом постоянного тока в диапазоне от 0 А до 10 А и служит для управления гидроцилиндрами поворота лопаток входного аппарата ГТД, управления приводами поворота сопла и реверса тяги, запуска агрегата зажигания [3]. На выпускающей кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТА имени П. А. Соловьева в рамках проводимых научных исследований разработан программируемый коммутатор сигналов, который позволяет осуществить описанное выше испытание САУ и функционирует с описанными датчиками и исполнительными механизмами.

Обобщенная структурная схема устройства приведена на рис. 1.

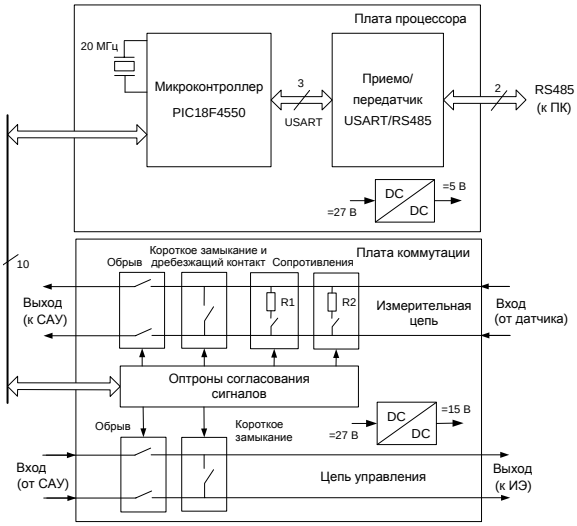


Рис. 1. Структурная схема программируемого коммутатора сигналов: ИЭ – исполнительный элемент; ПК – персональный компьютер

Основу узла процессора составляет микроконтроллер PIC18F4550 фирмы MicroChip, который выполняет функции управления сигнальными реле и реализует протокол обмена с ПК. Интерфейс связи RS485 позволяет дистанционно управлять устройством на расстоянии до 1200 метров от ПК и наблюдать происходящие процессы на мониторе ПК. В качестве драйвера RS485 служит микросхема MAX1480A, обеспечивающая гальваническую развязку интерфейсной линии до 3000 В.

Основу узла коммутации составляют реле трех типов. Реле типа «сухой контакт» фирмы OMRON и TECO Electronics для имитации обрыва, короткого замыкания и подключения омического сопротивления измерительной цепи САУ ГТД, а также, для имитации обрыва и короткого замыкания силовой цепи. Твердотельные реле отечественного производства предназначены для реализации дребезжащего контакта в измерительной цепи. Сигнальные реле фирмы Toshiba служат для гальванической развязки дискретных управляющих сигналов.

Питание программируемого коммутатора сигналов осуществляется от источника постоянного напряжения +27 В. На печатных узлах установлены DC/DC преобразователи фирмы Aimtec для питания всех элементов схемы.

Конструктивно программируемый коммутатор сигналов может быть выполнен в пылевлагонепроницаемом корпусе со степенью защиты IP67 фирмы FIBOX, габаритные размеры корпуса 222 × 125 × 81 мм. Внешние подключения должны быть выполнены через герметичные разъемы 2РМ. Это обстоятельство служит основанием утверждать о надежной работе программируемого коммутатора сигналов в условиях испытательного бокса ГТД. Прибор не имеет органов управления и индикации, данные функции реализуются дистанционно с ПК по протоколу обмена MODBUS ASCII сети RS485. ПК удобно разместить в пультовом помещении испытательного стенда. На рис. 2 изображен внешний вид программируемого коммутатора сигналов.

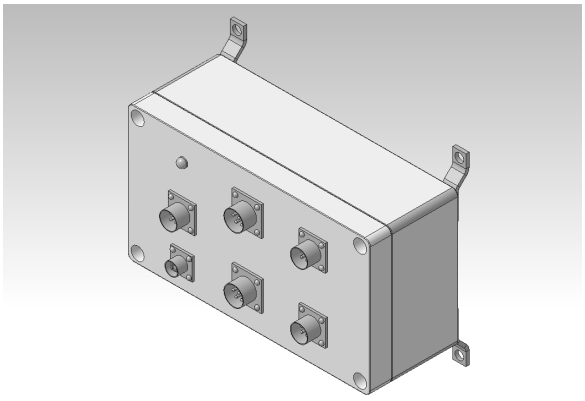


Рис. 2. Внешний вид программируемого коммутатора сигналов

Бригадир-испытатель имеет возможность выбрать режим испытаний САУ, ввести необходимые параметры, используя среду визуализации VBA или NI LabView. Схема функциональной структуры испытательного комплекса САУ ГТД на основе программируемого коммутатора сигналов изображена на рис. 3.

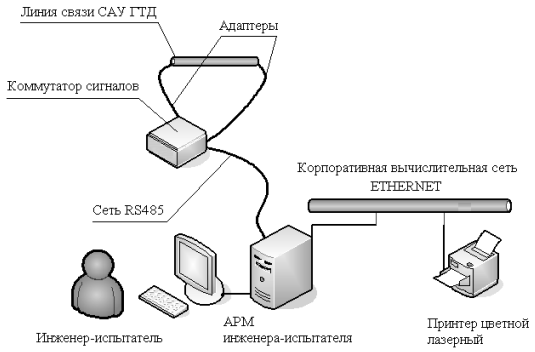


Рис. 3. Схема функциональной структуры испытательного комплекса САУ ГТД

Линии связи, использующиеся в САУ для передачи измерительных сигналов и выполненные на основе многожильных проводов или витых пар, имеют омическое, индуктивное и емкостное сопротивления. В момент коммутации линии связи или неполадок датчика и исполнительного элемента в самом кабеле происходят переходные процессы, вызванные наличием активного и реактивного сопротивлений. Реакция САУ ГТД на все эти процессы также вызывает интерес при испытаниях и может быть исследована с помощью коммутатора – рис. 4.

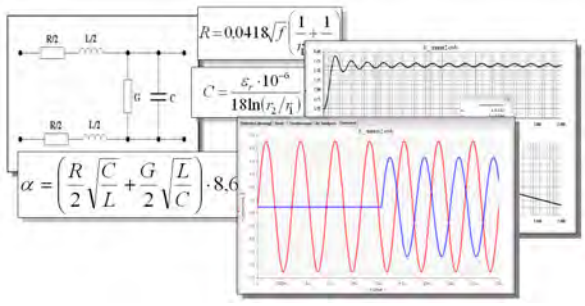


Рис. 4. Модель измерительной линии связи

В настоящее время на программируемый коммутатор сигналов разработана конструкторско-технологическая документация и проводится макетирование. Предполагается испытание сначала в лабораторных условиях, а затем непосредственно в одном из структурных подразделений ОАО «НПО «Сатурн», занимающихся испытания авиационных двигателей. ОАО «НПО «Сатурн» заинтересовано во внедрение программируемого коммутатора в промышленную эксплуатацию.

В работе над устройством принимают непосредственное участие студенты кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева».

Параллельно с завершением данной разработки уже намечено проведение дальнейшей модернизации и адаптации программируемого коммутатора сигналов для тестирования каналов используемых информационно-измерительных систем испытательных стендов ГТД.

Список литературы

1. Безъязычный, В.Ф. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных двигателей. Часть первая [Текст] / под ред. В. Ф. Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2005.
2. Пенкин, Д.Г. Оптимизация проведения приемочных испытаний авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / Д.Г. Пенкин // Информационные технологии: особенности применения и приоритетные направления развития. Кн. 2: монография. Новосибирск, ЦРНС: Изд-во «СИБПРИНТ», 2008.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДУГОВОГО ПЛАЗМОГЕНЕРАТОРА С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Анциферов Е.А. Воробьев М.С. Шугуров В.В.

Научный руководитель: Коваль Н.Н., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aevgena@sibmail.com

В настоящее время в технологических процессах поверхностная модификация металлов и сплавов, в том числе напыление покрытий и азотирование, наиболее эффективно осуществляется вакуумными ионно-плазменными методами. Вакуумно-дуговое азотирование, позволяющее увеличить твердость, износоустойчивость, коррозионную стойкость поверхностного слоя металла до нескольких раз, имеет значительные преимущества перед традиционным азотированием в тлеющем разряде.[1] При вакуумно-дуговом азотировании не применяется экологически вредный аммиак, скорость азотирования увеличивается более чем в 5 раз (в зависимости от материала). Разработанный в ИСЭ СО РАН для вакуумно-дугового азотирования ПИНК (плазменный источник с накаленным катодом), также осуществляет плазменное ассистирование при напылении функциональных покрытий, что позволяет улучшить такие их свойства, как адгезия, износостойкость и создавать наноструктурные сверхтвердые покрытия в том числе благодаря интенсивной бомбардировке подложки ионами газа. Однако ПИНК имеет два значительных недостатка: во-первых, средняя продолжительность работы катода составляет ~25 часов, что не допускает длительной непрерывной работы источника плазмы, из-за чего может происходить непредвиденная остановка технологического процесса, и, как следствие, нарушаются свойства поверхности; во-вторых, ПИНК не работает в атмосфере активных газов – кислорода и метана, что не позволяет ему осуществлять процессы оксидирования и нанесения алмазоподобных покрытий.

Данная проблема препятствует широкому внедрению технологии вакуумно-дугового азотирования и замены им азотирования в тлеющем разряде.

В лаборатории плазменной эмиссионной электроники Института сильноточной электроники разработан двухступенчатый генератор плазмы с полым анодом и полым катодом. Этот генератор плазмы позволит работать без остановки в течение нескольких сотен часов даже в атмосфере активных газов и сделает технологию вакуумно-дугового азотирования экономически выгодной. Существующие схемные решения для электропитания данного устройства имеет ряд недостатков: относительно большие массогабаритные параметры, отсутствие автоматического и дистанционного управления, низкая повторяемость результатов обработки в технологических процессах.

В связи с вышеизложенным, для двухступенчатого плазмогенератора необходимо разработать и создать источник питания, свободных от вышеозначенных недостатков.

В ходе предварительной работы по созданию плазмогенератора было произведено математическое моделирование оптимальных магнитных полей в источнике, выполнены расчеты геометрии и разработана конструкция генератора газовой плазмы с полым анодом и полым катодом, основанного на двухступенчатом дуговом разряде. На основе полученных данных, а также на основе изучения литературы по схемам электрического питания плазменного источника с накаленным катодом (ПИНК) были составлены технические задания на источники электропитания двухступенчатого генератора плазмы:

Источник питания 1 ступени разряда:

Выходной ток	5–100 А
Рабочее напряжение	20–50 В
Напряжение холостого хода	80±20 В
Дискретность регулирования тока, не хуже	1 А
Режим работы	Непрерывный
Напряжение питания	380/220 В, 50 Гц, 3 ф
Стабилизация тока	±5%

Блок автоматического поджига 1 ступени дуги:

Напряжение	5–16 кВ
Энергия в импульсе	0,1 Дж

Источник питания 2 ступени разряда:

Выходной ток	5–250 А
Рабочее напряжение	20–70 В
Напряжение холостого хода	100±20 В
Дискретность регулирования тока	1 А
Режим работы	Непрерывный
Напряжение питания	380/220 В, 50 Гц, 3 ф
Стабилизация тока	±5%

Источник питания магнитной катушки (2 шт.):

Выходной ток	50–2000 мА
Рабочее напряжение	150 В
Режим работы	Непрерывный
Напряжение питания	220 В, 50 Гц, 1ф
Стабилизация тока	±5%

Блок автоматического поджига дуги должен инициировать дуговой разряд при включении источника питания разряда и при самопроизвольном погасании дуги.

Для создания источника электропитания 1-й и 2-й ступени разряда была разработана следующая структурная схема:

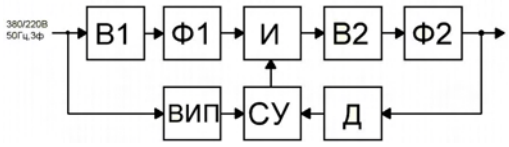


Рис. 1. Структурная схема источника питания 1-й и 2-й ступени разряда: В1, В2 – входной и выходной выпрямитель, соответственно; Д – датчик; И – инвертор; Ф1, Ф2 – фильтр входного и выходного напряжения соответственно; СУ – система управления; ВИП – вспомогательный источник питания

Входные и выходные выпрямители (В1, В2) и фильтры (Ф1, Ф2) служат для преобразования переменного напряжения в постоянное.

Схема инвертора (И) преобразует постоянное напряжение в переменное, с заданной частотой и амплитудой. Здесь же осуществляется гальваническая развязка между нагрузкой и питающей сетью.

Датчик (Д) служит для измерения выходного тока и передачи информации в систему управления (СУ), где и происходит корректировка выходного тока, путем воздействия на ключевые элементы схемы инвертора (И). ВИП служит для питания системы управления.

Исходя из этого, была спроектирована и реализована часть схемы инвертора, а также часть схемы управления. А именно, схема инвертора без трансформатора и драйвер для управления IGBT ключами.

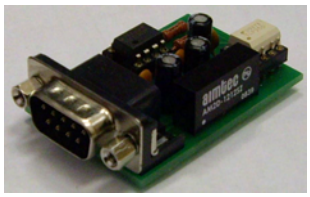


Рис. 2. Внешний вид драйвера

Данная схема испытана как на активную нагрузку, так и на разряд. Эксперимент показал надежность открывания ключевых элементов схемы, а также надежную работу всего устройства в целом. В ходе экспериментов, подобраны демпфирующие цепи, обеспечивающие защиту ключевых элементов от выбросов напряжения, а также определены диапазоны перестройки выходных токов источников электропитания.

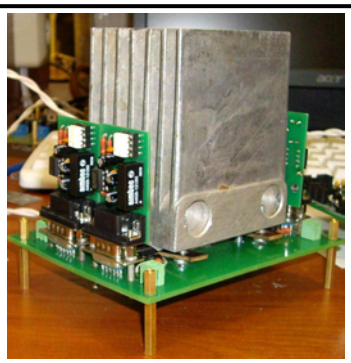


Рис. 3. Внешний вид схемы инвертора

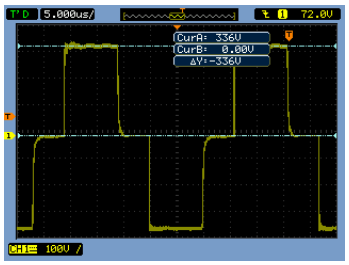


Рис. 4. Осциллограмма выходного напряжения схемы инвертора

В данной работе спроектированный силовой модуль является базовым элементом источника электропитания двухступенчатого плазмогенератора.

В целом, разработанный и испытанный модуль является универсальным и может быть использован для создания управляемых импульсных источников как для научных исследований, так и в технических целях.

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке программы «УМНИК» – «Разработка генератора газовой плазмы, основанного на двухступенчатом дуговом разряде с полым анодом и полым катодом для поверхностной модификации металлов и сплавов»

Список литературы

1. Винтизенко Л.Г., Григорьев С.В., Коваль Н.Н. и др. Дуговые разряды низкого давления с полым катодом и их применение в генераторах плазмы и источниках заряженных частиц // Изв. вузов. Физика: сборник. – 2001. – № 9. – С. 28–35.
2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
3. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.: ил.

УПРАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЭНЕРГОБАЛАНСА

Астахова Н.В.

Научный руководитель: Казанцев Ю. М., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: astahova_nv@mail.ru

Основой регулирующей аппаратуры силовых электронных систем являются полупроводниковые импульсные преобразователи (ИП) электрической энергии, хорошо сочетающиеся со всеми основными типами источников электропитания, такими, как солнечные батареи, топливные элементы, термоэлектрические генераторы, промышленная сеть. ИП, работающие с частотами переключения от десятков до сотен килогерц, являются также основой большинства источников вторичного электропитания и регуляторов электропривода различных систем.

Импульсный преобразователь представляет собой динамическую систему, состояние которой изменяется во времени под влиянием воздействующих факторов. Адаптацию системы к возмущающим воздействиям и ее способность выполнять свои функции обеспечивает управление.

В настоящее время преобразовательная техника развивается как по пути оптимизации энергетических процессов в ИП, совершенствования их структуры и элементной базы, так и по пути совершенствования методов и средств управления преобразователями, причём наблюдается устойчивая тенденция к расширению функций, возлагаемых на систему управления. Таким образом, разработка эффективных систем управления весьма актуальна.

Основная идея современного подхода к проектированию систем управления заключается в решении следующей задачи: задан объект управления или процесс; требуется найти закон управления или управляющую последовательность воздействий, доставляющих максимум или минимум заданной совокупности критериев качества системы.

Существует много различных методов решения поставленной задачи проектирования оптимальной системы управления. Наиболее часто используемыми и эффективными считаются принцип максимума Понтрягина, использование функций Ляпунова, типовые законы управления (например, ПИД-регуляторы).

Однако непосредственное применение функций Ляпунова и принципа максимума Понтрягина при синтезе систем управления является весьма затруднительным из-за сложности преобразований, а показатели качества при управлении по типовым законам требуют улучшения.

В преобразовательной технике существенно упростить задачу, а также добиться оптимальных показателей качества управления позволяет использование уравнения баланса между текущим значением внутренней (запасенной системой) энергии и её значением в установившемся режиме [1]. В соответствии с принципом наименьшего действия [2] стратегия управления, обеспечивающая минимум интеграла по времени от уравнения баланса, обеспечивает и минимальное время переходного процесса. Рассмотрим реализацию этого подхода на примере ИП (рис. 1), в котором текущее значение накопленной *LC*-фильтром энергии равно

$$W = \frac{C}{2}U_{\text{н}}^2(t) + \frac{L}{2}\left(i_{\text{L}}(t) - i_{\text{н}}(t)\right)^2 \operatorname{sgn}\left(i_{\text{L}}(t) - i_{\text{н}}(t)\right), \quad (1)$$

где L, C – индуктивность дросселя и емкость конденсатора *LC*-фильтра; $U_{\text{н}}(t)$ – выходное напряжение; $i_{\text{L}}(t)$ – ток дросселя; $i_{\text{н}}(t)$ – ток нагрузки; $\operatorname{sgn}(i_{\text{L}}(t)-i_{\text{н}}(t))$ – знак тока конденсатора $i_C(t)$ (определяет знак пульсирующей составляющей энергии дросселя).

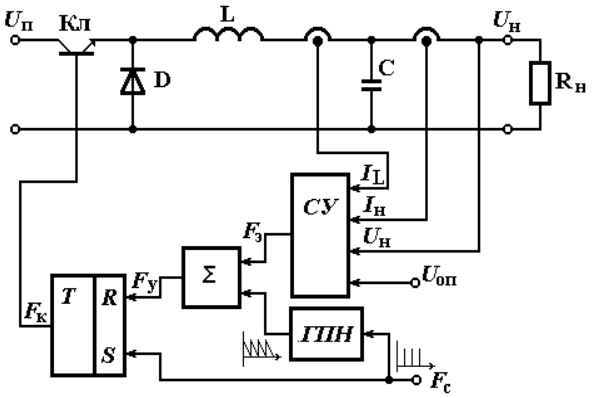


Рис. 1. Схема ИП с управлением по балансу необходимой и запасенной в системе энергии

Пусть переключение ключевого элемента (Кл) осуществляется по смене знака баланса между текущим значением внутренней энергии, запасенной *LC*-фильтром, и значением энергии *LC*-фильтра в установившемся режиме. Тогда после простых преобразований (1) закон управления в схеме (рис. 1) с линейным сигналом развертки $AP\{t/T\}$, где AP – амплитуда; $\{t/T\}$ – дробная часть отношения t/T, T – длительность периода модуляции, можно представить в виде:

$$F_{\text{У}} = \left(U_{\text{Н}}^2(t) - U_{\text{оп}}^2\right) + \rho^2\left(i_{\text{L}}(t) - i_{\text{Н}}(t)\right)^2 \times$$
$$\times \operatorname{sgn}\left(i_{\text{L}}(t) - i_{\text{Н}}(t)\right) + AP\{t/T\} \quad (2)$$

$$F_{\text{К}} = \begin{cases} 1 & \text{при } t_{\text{п}} < t < t_{\text{п.к}}; \\ 0 & \text{при } t_{\text{п.к}} < t < t_{\text{п+1}}. \end{cases}$$

$\rho = \sqrt{L/C}$ – характеристическое сопротивление LC-фильтра; $U_{\text{оп}}$ – заданное выходное напряжение; $F_{\text{к}}$ – состояние Кл (при $F_{\text{К}} = 1$ включено, при $F_{\text{К}} = 0$ выключено), $t_{\text{п}}$, $t_{\text{п+1}}$ – моменты синхронизации; $t_{\text{п.к}}$ – момент выключения Кл, определяемый наименьшим положительным корнем уравнения $F_{\text{у}} = 0$ на n–ом периоде модуляции.

Чтобы продемонстрировать преимущества способа управления по балансу энергии (2) перед типовыми законами, сравним показатели качества управления ИП для различных законов, полученные при моделировании схемы понижающего преобразователя постоянного напряжения (рис. 1).

Рассмотрим следующие законы:

1. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-регулятор), функция управления которого имеет вид:

$$f(t) = \kappa_n x(t) + T_\partial \dot{x}(t) + \frac{1}{T_u}\int_0^t x dt + AP\{t/T\} \quad (3)$$

где $x(t)=U_{\text{н}}(t)–U_{\text{оп}}$ – сигнал ошибки; $U_{\text{оп}}$ – номинальное значение выходного напряжения; $\dot{x}(t)$ – производная сигнала ошибки; κ_n, T_∂ – коэффициенты передачи; T_u – постоянная времени интегратора.

2. Пропорционально-дифференциальный (ПД-регулятор) с функцией управления:

$$f(t) = \kappa_n x(t) + T_\partial \dot{x}(t) + AP\{t/T\} = , \quad (4)$$
$$= \kappa_n x(t) + T_\partial\, i_c / C + AP\{t/T\}$$

где в качестве производной сигнала ошибки используется ток конденсатора выходного фильтра: $i_c = C\dot{x}$;

3. Закон на основе баланса необходимой и запасённой в системе энергии (2).

В табл. 1 приведены показатели качества управления по законам (2), (3), (4), полученные при моделировании схемы ИП по рис. 1 со следующими параметрами: L=0,2 мГн, C=2000 мкФ, $U_{\text{оп}}$=27В, AP=1,5 В; входное напряжение изменяется в диапазоне 30–60 В, выходная мощность – в диапазоне 30–120 Вт.

Важным техническим параметром ИП, влияющим на устойчивость связки «источник-потребитель», является выходной импеданс. Чтобы система была устойчива, модуль входного импеданса потребителя должен быть больше модуля выходного импеданса источника во всем диапазоне частот.

На рис. 2 представлены графики зависимости выходного импеданса ИП $Z(f)$ от частоты f при управлении по законам (2), (3), (4).

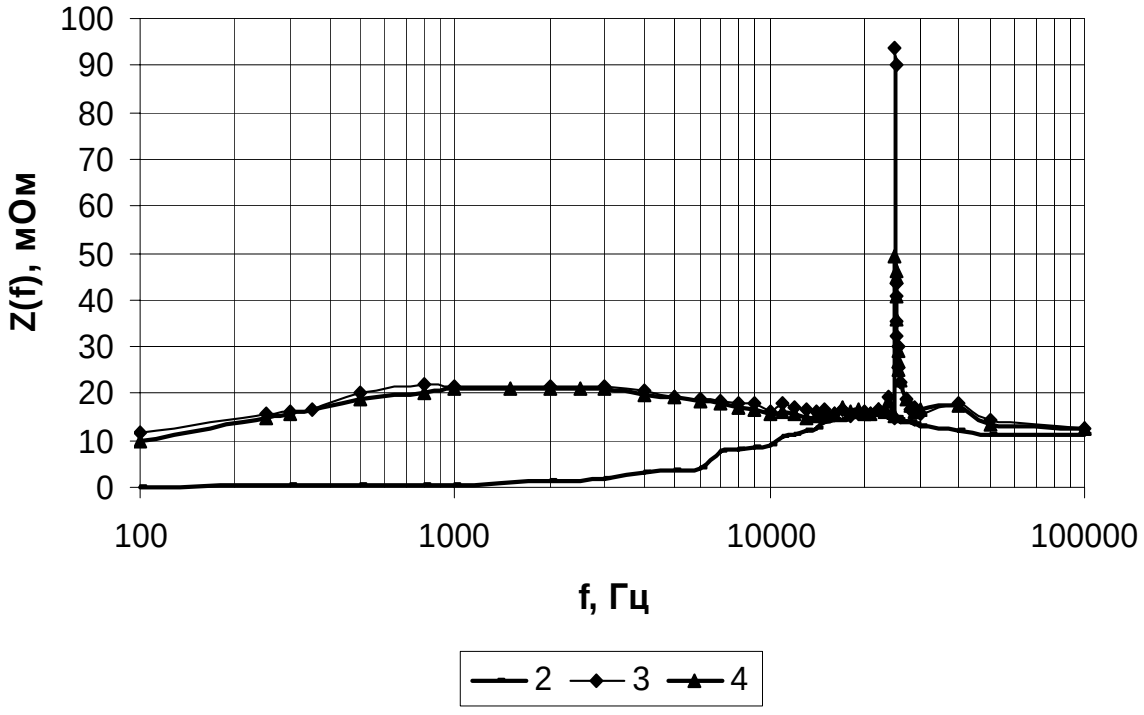


Рис. 2. Выходной импеданс ИП (схема на рис. 1) с управлением по законам (2), (3), (4)

Таблица 1

Показатель качества управления ИП	ПД-регулятор	ПИД-регулятор	Закон управления по балансу энергии
Статическая ошибка, мВ	554	0	6,5
Максимальное перерегулирование при включении с нулевых начальных условий, мВ	290	23	0
Максимальное время регулирования при включении с нулевых начальных условий ($\varepsilon_{доп}=1\%$), мс	3,4	2,1	1,23
Максимальная динамическая ошибка при скачкообразном набросе и сбросе входного напряжения $\Delta U_{вх}=30В$, мВ	290	483	0
Максимальное время регулирования при скачкообразном набросе и сбросе входного напряжения $\Delta U_{вх}=30В$, мс	0,54	10,3	0,01
Максимальная динамическая ошибка при скачкообразном набросе и сбросе тока нагрузки $\Delta I_{Н}=3,33А$, мВ	443	240	200
Максимальное время регулирования при скачкообразном набросе и сбросе тока нагрузки $\Delta I_{Н}=3,33А$, мс	1,3	0,3	0,1

Испытания, проведённые на модели ИП, показали, что метод управления по балансу энергии (2) обеспечивает близкое к показателю ПИД-регулятора значение статической ошибки и наилучшее качество как в переходном процессе при включении с нулевых начальных условий, так и при воздействии внешних возмущений. Ещё одно существенное достоинство способа управления по балансу необходимой и запасённой в системе энергии – более низкое значение выходного импеданса ИП во всём рассмотренном частотном диапазоне, что свидетельствует о большей устойчивости системы, с управлением по закону (2).

Список литературы

1. Казанцев Ю.М., Лекарев А.Ф. Формирование управления по балансу необходимой и накопленной в системе энергии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. № 5. – С. 17–20.
2. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ МИКРОПЛАЗМЕННОМ ОКСИДИРОВАНИИ

Баранов П.Ф.

Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bpf@tpu..ru

Введение

Современная промышленность предъявляет высокие и разнообразные требования к качеству покрытий на металлах. Одним из эффективных методов воздействия на поверхность является микроплазменный метод обработки поверхности – обработка в электролитах токами большой плотности, которая сопровождается появлением локальных плазменных разрядов [1]. В настоящее время метод микроплазменного оксидирования вышел на промышленный уровень, который требует разработки измерительного оборудования и программного обеспечения для измерения технологических параметров процесса микроплазменного оксидирования.

Для исследований электролита при микроплазменном оксидировании на кафедре компьютерных измерительных систем и метрологии была разработана компьютерная система автоматизированного исследования электролита.

Моделирование кондуктометрической ячейки

Для анализа электролита при микроплазменном оксидирование была выбрана двухэлектродная кондуктометрическая ячейка, со свободно перемещающейся системой электродов. Такая конструкция кондуктометрической ячейки проста в изготовлении и использовании, недостатком же является то, что распределение силовых линий тока не ограничивается столбиком электролита между электродами. Для ограничения распределения силовых линий тока наружные и торцевые грани электродов изолируют [2].

Было произведено моделирование распределение силовых линий тока.

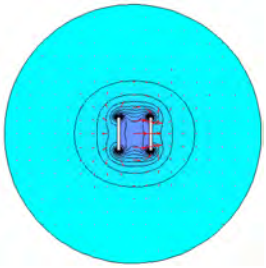


Рис. 1

На рис. 1 представлена модель распределения силовых линий тока в объеме электролита с неизолированными электродами, на рис. 2 модель с изолированными наружными и торцевыми гранями электродов.

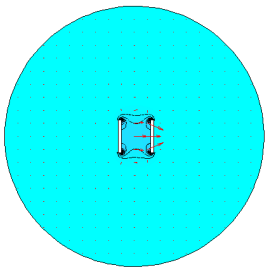


Рис. 2

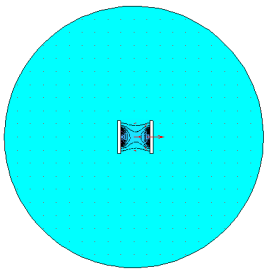


Рис. 3

После изолирования граней электродов произошло перераспределение силовых линий тока. Вследствие чего на внутренних углах электродов возросла плотность тока. На рис. 3 представлена модель рассеяния силовых линий тока с полностью изолированными электродами, за исключением не больших площадок, находящихся на внутренних поверхностях электродов друг напротив друга.

При таком способе изоляции электродов силовые линии распределены равномерно и ограничиваются столбиком электролита между электродами. Следовательно, такой способ изоляции электродов является наиболее эффективным

Состав компьютерной измерительной системы

Компьютерная система является модульной измерительной системой, которая базируется на промышленном стандарте PXI. Структурная схема компьютерной системы автоматизированного исследования электролита в технологическом процессе микроплазменного оксидирования представлена на рис. 4.

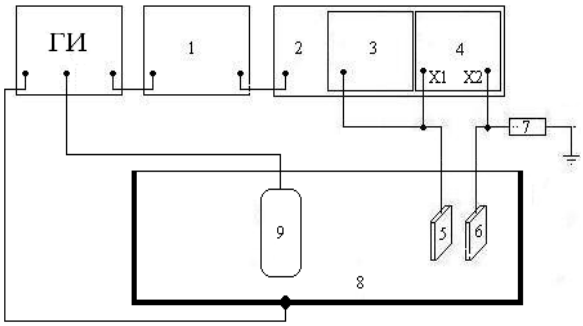


Рис. 4. Компьютерная система автоматизированного исследования электролита

На рис. 4: ГИ – генератор импульсов, 1 – персональный компьютер 2 – модульная измерительная система стандарта PXI, 3 – модуль генератора сигналов NI PXI-5422, 4 – модуль двухканального осциллографа NI PXI-5124, 5 и 6 – измерительные электроды, 7 – резистор, 8 – ванна с электролитом, 9 – обрабатываемое изделие.

Принцип действия: ПК (1), используется для обработки информации и управления генератором импульсов и системой PXI (2), для измерения удельной электропроводности (УЭП) в систему PXI (2) установлены модули генератора сигналов (3) и двухканального осциллографа (4). Сигнал с генератора сигналов (4) подается на электрод (5), погруженный в ванну с жидкостью (8). С помощью осциллографа (4) производится измерение напряжения на электродах (5) и (6).

Для получения зависимости тока через кондуктометрическую ячейку от напряжения специальной формы на измерительном электроде был разработан виртуальный прибор Conductometr 2S, лицевая панель которого представлена на рис. 5.

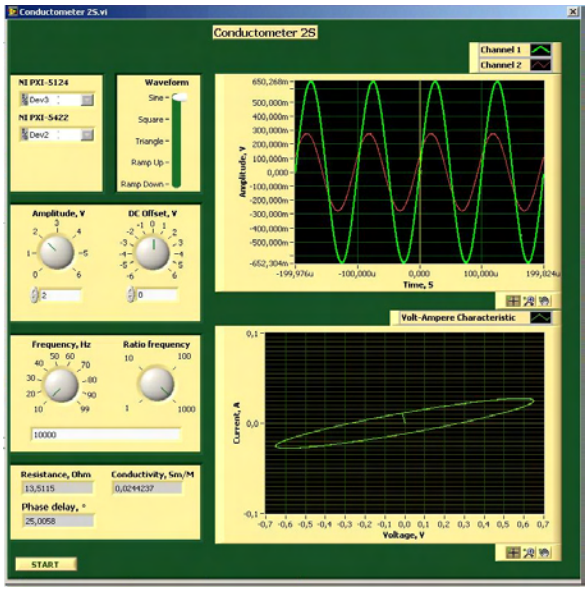


Рис. 5. Виртуальный панель компьютерной система автоматизированного исследования электролита

С помощью виртуального прибора, представленного на рис. 6, результаты измерений обрабатываются и представляются в трехмерном виде для оценивания изменений во времени.

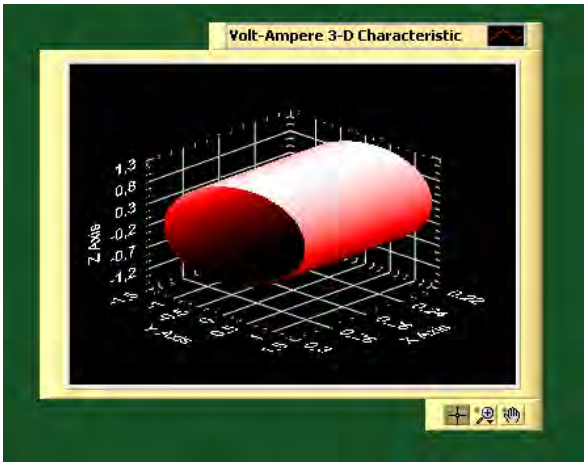


Рис. 6. Трехмерное представление вольтамперных характеристик

Вывод

В результате выполнения работы было промоделировано распределение силовых линий тока в объеме электролита и выбран наиболее эффективный способ изоляции электродов, спроектирована и реализована компьютерная система автоматизированного исследования электролита при микроплазменном оксидирование, разработано программное обеспечение для получения зависимости тока через кондуктометрическую ячейку от напряжения специальной формы на измерительном электроде с 2-D и 3-D визуальным представлением. Разработанное программное обеспечение, для исследования отклика, позволяет формировать воздействие на кондуктометрическую ячейку синусоидальной, прямоугольной, треугольной и пилообразной формы, амплитудой от 1 до 6 В и частотой от 10 Гц до 100 КГц, сохранять результаты измерений в базу данных с дальнейшим трехмерным их представлением.

Список литературы

1. Мамаев А.И. Сильнотоковые процессы в растворах электролитов / А.И. Мамаев, В.А. Мамаева. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 255 с.
2. Лопатин Б.А Теоретические основы электрохимический методов анализа/ Б.А. Лопатин, И.К. Маршаков. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1975. – С. 88–108.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И КАЛИБРОВКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ БОЛОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ

Баринова П.В., Шипова Э.А.

Научный руководитель: Печаткин А.В., к.т.н, и.о. зав. кафедрой

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева, 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53, тел/факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Современные гражданские и военные технологии требуют использования тепловизоров – приборов, обеспечивающих формирование тепловизионного изображения в виде растра, аналогичного телевизионному изображению.

Тепловизоры применяются в системах безопасности и наведения, используются в машиностроении для диагностики перегрева оборудования.

В энергетике тепловизоры позволяют на расстоянии определять состояние силовых трансформаторов, контактных соединений линий электропередачи.

При разработке и производстве радиоэлектронной аппаратуры тепловизоры позволяют контролировать перегрев элементов, обеспечивая надёжность функционирования аппаратуры.

В городском хозяйстве тепловизоры позволяют дистанционно обнаруживать места утечки тепловой энергии и оперативно принимать меры для их устранения.

В медицине используются для ранней диагностики онкологических заболеваний, поскольку опухоль имеет температуру, отличающуюся от температуры окружающей ткани [1,2].

Уровень сигнала каждого пикселя тепловизионного датчика определяется интенсивностью теплового излучения, т.о. можно наблюдать распределение температур в плоскости изображения объекта.

Для измерения мощности теплового излучения в тепловизорах используется твердотельный датчик, выполненный в виде интегральной микроболометрической матрицы (МБМ).

МБМ представляет собой микросхему, объединяющую на одном кристалле термочувствительные элементы и схему предварительной обработки сигнала, преобразующую изменения сопротивления в выходное напряжение и компенсирующую фоновое излучение [2].

В идеальном случае, выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ каждого пикселя МБМ строго пропорционально изменению температуры и содержит три составляющие [1]:

$$U_{вых} = U_{а} + (1 + K) \cdot U_{и}, \qquad (1)$$

где $U_{ВЫХ}$ – выходной сигнал МБМ; $U_{а}$ – аддитивная погрешность (некомпенсируемый остаток фона МБМ); K – мультипликативная погрешность (неравномерность чувствительности отдельного термочувствительного элемента МБМ).

Очевидно, что полезный сигнал микроболометра замаскирован паразитным сигналом, связанным как с методом формирования сигнала, так и с технологическими погрешностями датчика. Поэтому, перед подачей такого сигнала на устройство отображения, его необходимо обработать с целью компенсации этого паразитного сигнала.

Контроль температуры или дальнее обнаружение объектов требуют не только высокого разрешения изображения, но и большого динамического диапазона яркости, вследствие чего для оцифровки сигнала МБМ используются АЦП с разрядностью до 16 бит. Однако это не избавляет от свойственного всем МБМ недостатка – неравномерного распределения чувствительности элементов матрицы и появлению фоновых шумов.

Причинами появления шумов являются: дискретная природа вещества, из которого сделаны фоточувствительные элементы матрицы, зернистость матрицы, излучение (атомы, фотоны), тепловое движение частиц, быстрые флуктуации относительно среднего значения сигнала [3]. Шумы нарушают точность измерения и являются причиной низкого предела обнаружения объектов. Влияние шума целесообразно минимизировать соответствующей программной обработкой.

Процесс исправления шума или, иначе, коррекция неоднородности чувствительности МБМ является одной из основных функций для матричных фотоприемников и осуществляется с помощью процедуры калибровку по равнотемпературному полю. Исходными данными для калибровки служат распределения чувствительности датчика при двух значениях температуры равномерно-нагретой поверхности.

На основании выше сказанного, с учетом технологического разброса параметров чувствительности МБМ на этапе проектирования тепловизионного изделия, а в дальнейшем и на этапе технологической подготовки производства, целесообразно использовать технологические модули, способные работать с различными типами интегральных МБМ и обеспечивать, во-первых, индивидуальную калибровку каждой матрицы на основе вычисления поправочных коэффициентов, во-вторых, локализацию дефектных областей матрицы, в-третьих, разработку адаптивных алгоритмов работы с МБМ и цифровой обработки сигналов, и, в-четвертых, формирование калибровочных массивов для работы изделия в различных условиях естественного фона.

Такой технологический модуль, конструкторско-технологическая документация на который разработана коллективом студенческого конструкторско-технологического бюро кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТА по заданию ОАО «Ростовский оптико-механический завод», представляет собой программно-аппаратный комплекс и предназначен для работы как с отдельными МБМ, так и с готовыми изделиями с уже смонтированной и отрегулированной оптической системой – рис. 1. Во втором случае, тепловизионное изделие должно иметь специальный режим настройки, при котором осуществляется подача всех необходимых напряжений питания и смещений на МБМ, а управляющее устройство (микроконтроллер) переводится в пассивный режим. Все функции управления матрицей берет на себя технологический модуль. Такое решение позволяет не только упростить разработку технологического обеспечения, но и приблизить параметры режима калибровки к рабочим. Безусловно, что работа технологического модуля должна минимальным образом влиять на достоверность результатов калибровки.

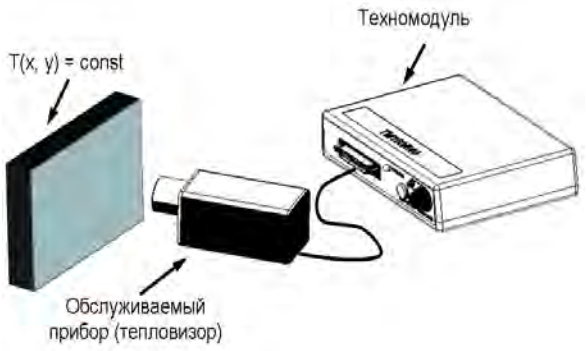


Рис. 1. Обобщенное изображение технологического модуля для калибровки интегральных МБМ

Алгоритмы коррекции, применяемые для устранения неоднородностей, являются общеизвестными математическими методами, применяемыми так же в других направлениях науки и техники.

Исходными данными для калибровки и оценки неравномерности изображения и уровня шума тепловизионного сигнала служат распределения чувствительности матрицы при двух значениях температуры равномерно-нагретой поверхности при равномерной засветке объектива (матричной чувствительной плоскости). Обе засветки должны состоять из достаточно большого количества кадров, по которому можно оценить среднее значение чувствительности элементов матрицы.

На практике, пользуются данными 50 кадров при обеих температурах. На основе полученных значений яркости I_{ij} каждого пикселя вычисляют средние значения для каждой из засветок:

$$\mu = \sum_{k=1}^{N} \sum_{i=j=1}^{i=n\ j=m} \frac{I_{ij}}{N \times n \times m} \qquad (2)$$

где μ – среднее значение чувствительности пикселей МБМ в засветке при тестовой температуре; I_{ij} – яркость (чувствительность) одного элемента матрицы; N – количество кадров в засветке; m, n – количество число строк и столбцов матрицы соответственно.

Для устранения мультипликативной погрешности каждого пикселя рассчитываются коэффициенты α_{ij}:

$$\alpha_{ij} = \frac{\mu_{\text{в}} - \mu_{\text{н}}}{I_{ij\text{в}} - I_{ij\text{н}}} \qquad (3)$$

где $\mu_{\text{в}}$, $\mu_{\text{н}}$ – средние значения чувствительности пикселей МБМ в засветке при высокой и низкой температурах соответственно.

Остаточный аддитивный шум устраняется при помощи коэффициента β_{ij}:

$$\beta_{ij} = \mu_{\text{в}} - \alpha_{ij} \times I_{ij\text{в}} \qquad (4)$$

Формат записи коэффициента β_{ij}, представленный выражением (4), позволяет производить сначала перемножение зашумленного исходного сигнала на мультипликативный коэффициент, а затем устранять аддитивную погрешность. Такая

последовательность действий соответствует стандартной процедуре умножения с накоплением в типовых сигнальных процессорах, а также в появившихся на внутреннем рынке цифровых сигнальных нейропроцессорах, использующих аппарат нейроматричных вычислений.

Список литературы

1. Семенов В. Цифровая обработка сигнала микроболометра [Текст] / Современная электроника, № 3, 2008. – С. 44.
2. Ишанин Г.Г. Источники и приемники излучения [Текст] / Г.Г. Ишанин и др. – СПб.: Политехника, 1991.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение [Текст]: пер. с франц. – М.: Мир, 1988.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРЯДА – ИОНИЗАЦИИ ВОДОРОДА НА ТРУБНОЙ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ТОКА В ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТАХ

Бархатов А.Ф.

Научный руководитель: Назаров Б.Ф., к.х.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина 30
E-mail: barhatov@sibmail.com

Одним из путей решения проблемы обеспечения экологической безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов является снижение их аварийности путем повышения эффективности их катодной защиты от естественной наружной коррозии. Согласно ГОСТ Р 51169 – 98 [1] на каждом километре магистрального трубопровода должны быть установлены контрольно – измерительные пункты на которых стационарно на глубину укладки трубопровода устанавливают электрод сравнения, протяженность магистральных трубопроводов для транспорта газа и нефти составляет 250 тыс.км. В России и за рубежом практически повсеместно используются электролитные медно-сульфатные электроды сравнения. В России используется электрод типа ЭНЕС-1, который содержит медную пластину, погруженную в сосуд с электролитом в виде насыщенного раствора $CuSO_4$. Измерение поляризационного потенциала производится вольтметром, подключенным между контактами электрода сравнения и трубопровода. Однако электроды типа ЭНЕС в связи с наличием электролита имеют ряд существенных недостатков, затрудняющих его применение. Электрод требует регулярной доливки электролита, имеет ограниченный срок непрерывной работы, при его установке в грунт необходимо рытье шурфа. Электрод громоздок и неудобен при проведении мобильных измерений.

Таким образом, потребность в электродах носит массовый характер. Поэтому разработка технологии массового производства без электролитных электродов способных работать в тяжелых геологических, географических, климатических условиях эксплуатации, особенно в условиях крайнего севера и бескрайних болот, является актуальной проблемой. В частности, из-за этих проблем только порядка 40% магистральных трубопроводов России оснащены электродами сравнения вопреки требования ГОСТ 51164-98, что соответственно повышает экологическую опасность их эксплуатации.

Целью данного исследования является определения закономерностей установления стационарного потенциала СЭС во времени в зависимости от ряда факторов (влажность грунта, расстояния между наводораживающим электродом и СЭС). Для решения данной проблемы был создан принципиально новый способ формирования электрода сравнения. Сухой безэлектролитный электрод сравнения [Патент № 2376401 от 20.12.09] который может функционировать в автономном режиме в течение всего эксплуатационного периода подземного металлического сооружения, например, трубопровода. Технический результат – снижение эксплуатационных затрат и повышение эффективности катодной защиты магистральных измерений, путем обеспечения возможности надежных и непрерывных измерений в автономном режиме в течении всего эксплуатационного периода трубопровода. Данный результат предполагается обеспечить за счет отсутствия электролита в электроде сравнения и обеспечения возможности непосредственного введения устройства в грунт без предварительного рытья шурфа.

Однако, предлагаемый сухой безэлектролитный электрод сравнения не обладает собственным равновесным потенциалам, как например медно–сульфатный электрод сравнения. СЭС обладает стационарным потенциалом, который зависит от ряда факторов: от величины плотности тока, характера грунта, влажности и примесей. Тем самым это требует, затрачивать время на определение стационарного потенциала.

Электрод сравнения выполняется, например, в виде пластины из пористой нержавеющей стали и после установки в грунт, перед началом измерений пропускают через него электрический ток. При этом происходит электро – восстановление кислорода и окислов на поверхности электрода и

наводораживание прилегающей влаги грунта и пор электрода выделяемым из влаги грунта водородом. По мере насыщения пор электрода водородом его потенциал достигает своего постоянного стационарного значения. При проведении измерений, например, потенциала катодной защиты трубопровода цепь наводораживания отключается. Наличие пор позволяет сохранить в насыщенном состоянии влагу в порах в течении времени необходимом для проведения измерений. Данное утверждение подтверждается уравнением Тафеля в стационарных условиях для широкого диапазона плотности токов и практически всех металлов в водных электролитах с различной кислотностью:

$$E = a + b \cdot \lg(i), \qquad (1)$$

где E – потенциал электрода, i – плотность тока поляризации, a и b – константы, причём b=0,118 для всех металлов и электролитов, а величина a – зависит от величины тока обмена. Следует отметить, что потенциал электрода по уравнению Тафеля устанавливается не сразу, а только после истечения определённого времени [2].

Измеренное стационарное значение потенциала СЭС в процессе поляризации электрода постоянным током можно представить в виде ряда слагаемых:

$$E_{СЭС} = E_{2H(+)/H_2(0)} \pm IR + \Delta E \ , \qquad (2)$$

где $E_{СЭС}$ – измеренное значение потенциала СЭС относительно образцового электрода сравнения, например, нормального хлорсеребряного электрода, $E_{2H(+)/H(O)}$ – собственный потенциал СЭС, IR – омическое падение потенциала в объёме электролита (грунта), ΔE – величина поляризации электрода.

Стационарное значение $E_{СЭС}$ можно использовать для вычисления потенциала катодной защиты трубопровода, так как оно хорошо воспроизводимо и достаточно постоянно. Более точные измерения можно проводить после выключения тока. При этом IR быстро становится равным нулю, ΔE а величина падает до нуля, примерно, за 30 секунд, поэтому

$$E_{СЭС} = E_{2H(+)/H_2(0)}, \qquad (3)$$

Достоинством последнего соотношения является его проверяемость различными независимыми методами.

В качестве модели грунта использовали торф, в связи с тем, что он является наиболее сложным объектом исследования из всех грунтов вследствие, того что содержит разнообразные поверхностно активные вещества которые могут адсорбироваться на СЭС тем самым меняя процесс электролиза водорода.

Для проведения эксперимента была использована ванна размерами 13,5 см на 40 – соответственно, которая была наполнена слоем торфа толщиной 3 см. В нее был погружен СЭС диаметром рабочей поверхности 17,1 мм, то есть значение площади составляет 2,29 см^2. Влажность торфа определяли методом взвешивания, причем было установлено, что максимальная влажность присутствовала на дне ванны и составила 79 %, в средней и нижней части 48 и 21 %, соответственно. Данное наблюдение можно связать с тем, что вода под действием силы тяжести оседает на дне, а верхняя часть ванны в процессе испарения подсохла.

В качестве модели трубопровода использовали графитовую пластину (анод), электродом сравнения выступал хлорсеребряный электрод, а моделью станции катодной защиты выступала трехэлектродная установка, которая позволяет подавать к электроду ток от 2 до 1000 мкА.

В ходе эксперимента было установлено, что при увеличение расстояния между графитовой пластиной (анод) и СЭС (катод) происходит незначительное изменение стационарного потенциала. Однако если наводораживающий электрод и СЭС расположить рядом это приведет к ошибочным результат, так вследствие электролиза помимо водорода на СЭС будет выделяться кислород, который будет диффундировать во внутренне строение нержавеющий стали тем самым искажая значение стационарного потенциала. Если электроды расположить на большом расстоянии, то величина сопротивления будет слишком большая, тем самым омическое падение IR (в соответствии с формулой 2) будет вносить существенную ошибку на величину стационарного потенциала СЭС. Причем установлено, что в формуле 2 будут меняться, только составляющее IR в зависимости от величины расстояния между электродами, а остальные составляющие постоянны. Однако $\Delta E_{пол.}$ постоянна только в искусственных грунтах.

Таким образом, было установлено, что оптимальное расстояние между электродами лежит в пределах от 1 до 5 см. Экспериментально было установлено, что целесообразным становится использовать токи в диапазоне от 5 мкА от 50 мкА, так как слишком большое значение тока вносит ошибку $\Delta E_{пол.}$ в результаты измерений. Этот результат был подтвержден в ходе проведения эксперимента на насыщенном растворе соды, слишком большое значение тока наводораживания вносило существенную ошибку в определение значения pH при электродного слоя. Например, при токе наводораживания 320 мкА значения pH составило 10,21, хотя известно, что pH насыщенного раствора соды составляет 8,2. Слишком маленькое значение тока, например 5 мкА, существенно увеличивает время установления стационарного потенциала.

Для СЭС выпускающихся различной формы и размеров целесообразным будет рекомендовать

определение плотности тока, которая приходится на единицу поперечного сечения в данном случае 1 см^2. Оптимальные значения плотности тока лежат в пределах от 2,83 мкА/см^2 до 21,8 мкА/см^2.

Таким образом, полученная совокупность экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что при работе с СЭС значение, плотности тока должно лежать в пределах от 2,83 мкА/см^2 до 21,8 мкА/см^2 для торфа, а расстояния между электродами в пределах от 1 до 5 см.

Список литературы

1. ГОСТ-Р 51164-98. ТРУБОПРОВОДЫ СТАЛЬНЫЕ МАГИСТРАЛЬНЫЕ Общие требования к защите от коррозии.
2. К. Феттер. Электрохимическая кинетика. – М.: Химия, 1967. – С. 636–641.

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ДОЗИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

Бородин К.В.

Научный руководитель: Михальченко Г.Я., д.т.н., профессор

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: bkirill@hotbox.ru

Математическая модель

Схема замещения стабилизатора напряжения приведена на рис. 1, при этом приняты следующие допущения: полупроводниковые приборы представлены идеальными моделями, конденсаторы и дроссели – элементами с сосредоточенными параметрами. Полное описание, получение математической модели и решение системы дифференциальных уравнений приведено в [1].

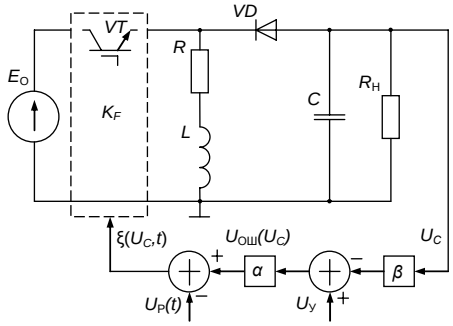


Рис. 1. Схема замещения преобразователя напряжения инвертирующего типа

Развертывающее напряжение $U_{\text{р}}(t)$ широтно-импульсного регулятора (ШИМ) формируется по закону однополярной нереверсивной модуляции (ОНМ-1). Построение картин бифуркаций и нахождение границы смены одноциклового многоцикловым с определением $\alpha_{кр}$ базируется на математическом аппарате [2–4].

Нелинейная динамика преобразователя в области разрывных токов дросселя

Анализ динамики в разрывных токах проводится для значения ρ = 0,28 и C = 500 мкФ [1].

Параметры модели преобразователя:
E_o = 220 В, $P_н$ = 1000 Вт, R = 1Ом, L = 40 мкГн, C = 500 мкФ, $R_н$ = 160 Ом $U_{оп}$ = 5 В f = 40 кГц, β = 0.025, $\gamma_{макс}$ = 0.71, U_y = 8 В

Динамика в режиме прерывистых токов дросселя (РПТ) эволюционирует по сценарию удвоения периода (рис. 2). Фазовый портрет показывает (рис. 3), что для всех α преобразователь работает в режиме прерывистых токов и не затрагивает режим РНТ.

При малых значениях α < 400 существует устойчивый одноцикловый режим. В момент α = 400 происходит мягкое удвоение периода (m = 2) вызванное бифуркационными процессами ключа *VT*1 и диода *VD*1(рис. 2). Эти процессы приводят к плавному росту уровня относительных пульсаций до величины 1,4 (140%), вызванных разбросом максимального $U_{макс}$ минимального $U_{мин}$ выходного напряжения.

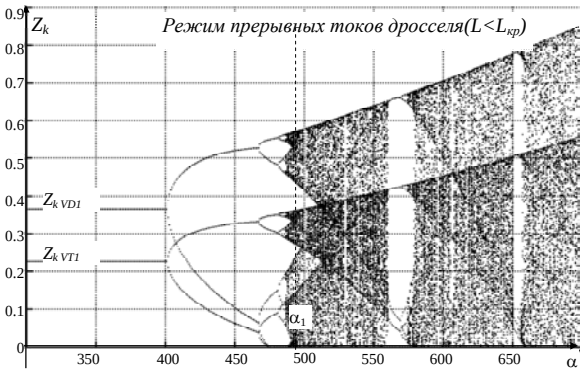


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма скважности Z_k РПТ для U_y = 8В

Далее под воздействием изменения Z_{k1}, Z_{k2} происходит каскад бифуркаций с удвоением периода до m = 16, и при α = 490 переход системы к узкополосной и широкополосной хаотической (рис. 3) динамике системы.

Величина относительных пульсаций напряжения изменяется незначительно $K_п$ = –1,5(150%)…–2(200%).

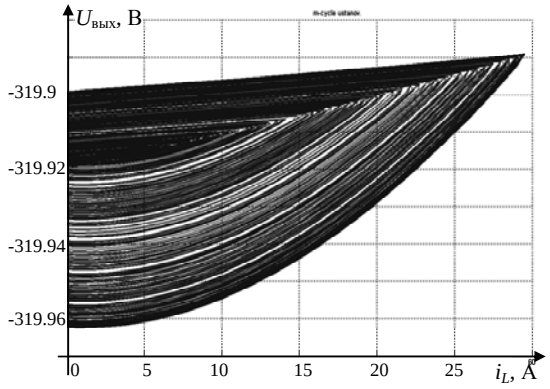


Рис. 3. Фазовый портрет широкополосного хаоса α=495

Таким образом, в режимах прерывных токов:

• Переход системы к широкополосной хаотической динамике в РПТ носит не мгновенный характер, а с плавно увеличивающимися значениями пульсаций выходного напряжения и тока дросселя.

• Жестко возбужденные области с устойчивыми *m*–циклами низкого порядка (*m* = 3–9) на картах коэффициентов пульсаций не выделяются из общей динамики изменения энергетических показателей преобразователя.

• При смене расчетного одноциклового режима двухцикловым амплитуда пульсаций выходного напряжения изменяется в пределах 5 – 10%, в зависимости от U_y , и практически не зависит от величины индуктивности.

Нелинейная динамика преобразователя в области неразрывных токов дросселя

Анализ динамики в непрерывных токах проводится для значения ρ = 1,41 и *C* = 1000 мкФ.

Параметры модели преобразователя:
E_o = 220 В, $P_н$ = 1000 Вт, *R* = 1 Ом, *L* = 2000 мкГн, *C* = 1000 мкФ, $R_н$ = 160 Ом $U_{оп}$ = 5 В *f* = 40 кГц, β = 0.025, $\gamma_{макс}$ = 0.71.

Смена устойчивого одноциклового состояния происходит без удвоения периода с мягким или жестким возбуждением, как у преобразователей повышающего и понижающего типа, а наблюдается квазипериодическая динамика развития, переходящая в перемежающиеся устойчивые *m*-циклы высокого порядка (*m* > 50), квазипериодические и хаотические состояния. Граница устойчивости *m*-циклов высокого порядка для изменяемого параметра α не превышает 0,2.

Как следует из (рис. 4), при малых значениях коэффициента усиления зарождается и существует устойчивый одноцикловый режим (α_1), который стабилен до критического значения $\alpha_{кр}$=16,6. Далее этот одноцикловый режим, в связи с начавшимися бифуркационными процессами коэффициента заполнения Z_{k1} ключа *VT*1, теряет устойчивость и сменяется *m*–цикловыми режимами высокого порядка (*m* = 80–83, α = 16,7–17,1). Уровень относительного коэффициента пульсаций тока дросселя в момент потери устойчивости возрастает на шесть-семь порядков (10^5–10^6).

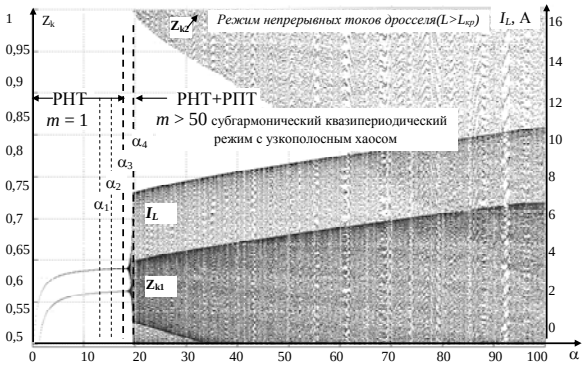


Рис. 4. Сводная бифуркационная диаграмма зависимостей скважности ключа VT1 $Z_{k1}(\alpha)$, обратного диода VD1 $Z_{k2}(\alpha)$ и $I_L(\alpha)$ при U_y = 7.5 В

Можно видеть (рис. 5), что совмещенный фазовый портрет в едином масштабе, до значения α_1 фазовый портрет имеет единый замкнутый контур (рис., α=14) и расположен в области непрерывных токов. При значении α_2 происходит размытие контура, вызванное появлением в системе низкочастотной составляющей (рис. 5, α = 16), которая с дальнейшим ростом α_3 – α_4 увеличивает несущую частоту низкочастотных колебаний в преобразователе (рис. 5, α=18) и приводит к режиму прерывистых токов.

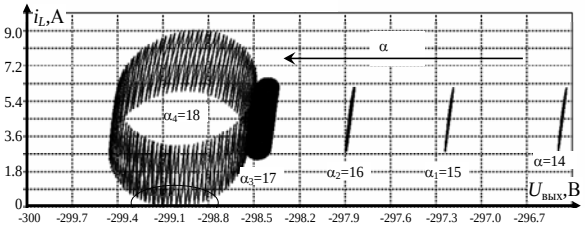


Рис. 5. Динамика изменения фазового портрета

После окончания катастрофического роста тока (α = 20) и потери устойчивости 83-циклового режима возникает квазипериодическая динамика с перемежающимися устойчивыми *m*-циклами высокого порядка (*m* > 50) и хаотическими состояниями, вызванная прерывистыми токами I_L и определяемая коэффициентом заполнения Z_{k2}.

Таким образом, в режимах непрерывных токов:

• Отсутствует классический сценарий развития динамический режимов Фейгенбаума с удвоением периода. Развитие основного одноциклового режима происходит катастрофически через режимы высокого порядка (*m* > 100) с постепенным уменьшением порядка (*m*) при росте α. Режимов низкого порядка (m < 30) в системе не обнаружено.

• Максимальный размах пульсаций тока дросселя в динамических режимах равен 210% и не зависит от величины U_y задающего напряжения ОС преобразователя, а так же практически не зависит от величины индуктивности *L*.

• Появления режима с разрывными токами дросселя происходит сразу после окончания ката-

строфического роста тока i_L и отстоит от $\alpha_{кр}$ на 2–4 единицы.

Список литературы

1. Бородин К.В. Математическое моделирование динамики инвертирующего DC/DC преобразователя напряжения / Бородин К.В., Михальченко С.Г // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).– 2008. – №2 (18) часть 2. – 150–156 с.
2. Баушев В.С. Стохастичность в динамике стабилизатора напряжения с широтно-импульсным регулированием / В.С. Баушев, Ж.Т. Жусубалиев, С.Г. Михальченко // Электричество. – 1996. – № 3. – 69–75 с.
3. Кобзев А.В. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей (монография) / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, С. Г. Михальченко, А. И. Андриянов // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007, – 224 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Белоусов В.О.

Научный руководитель: Воробьева Г.С. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Slavic-2005@ya.ru

При ежегодном приросте числа автомобилей на дорогах актуальным становится вопрос парковки. С середины XX века начали появляться устройства облегчающие процесс парковки. Постепенно от разного рода оптических систем (перископов и обзорных линз) производители переходят на электронные устройства, способные с достаточной точностью измерять расстояния до препятствий и сообщать эту информацию водителю.

Такие устройства называются парковочные радары или парктроники. Парктроник, с помощью датчика, измеряет расстояние до ближайшего препятствия и выводит эту информацию на индикатор. Индикация производится звуками различной длительности, также информация может выводиться на дисплей. В простейших версиях парковочных радаров использовались компараторы, сравнивающие сигнал с датчика с некоторым опорным напряжением, таким образом определялось насколько препятствие далеко от автомобиля. С развитием микроэлектроники, для вычисления расстояния стали использовать микроконтроллеры. В качестве датчиков чаще всего используются: оптические, емкостные и ультразвуковые.

Даже самый современный парковочный радар не может гарантировать 100% безопасности при совершении маневра, так как внешние условия и загрязненность датчика влияют на точность измерения. Однако сейчас уже разрабатываются и внедряются системы, полностью автоматизирующие процесс парковки.

Производители парктроников устанавливают цены в несколько сотен долларов на свою продукцию. Даже самое простое устройство с 2-мя датчиками стоит 1500–2000 рублей в зависимости от фирмы производителя [1]. Целью данной статьи является создание недорогого устройства для парковки автомобиля.

Структурная схема такого устройства изображена на рис. 1.

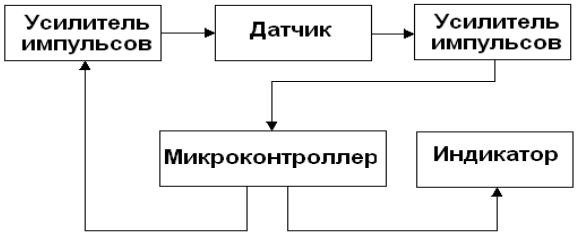


Рис. 1 структурная схема парктроника

Для экспериментального макета был выбран микроконтроллер C8051F060. Микроконтроллер представляет собою полностью интегрированную на одном кристалле систему для обработки смешанных (аналоговых и цифровых) сигналов, что позволяет построить на одной микросхеме законченную систему управления или сбора данных. Для создания устройства может быть использован микроконтроллер с более низкими характеристиками, что снизит итоговую стоимость системы[2].

Для измерения расстояния выбираем ультразвуковые датчики. Ультразвуковые датчики излучают импульс в виде конуса, что ограничивает возможность измерения расстояния до объектов с небольшой площадью отражения. Однако, пьезокерамический датчик имеет возможность измерять расстояния до таких сложных объектов таких как, например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные или напротив сильно отражающие поверхности.[3] Для экспериментальной модели были выбраны датчики MA40S8R, работающие на частоте 40 кГц, способные измерять расстояние от 20 см до 4 м.

Ультразвуковые датчики систем помощи в парковке обычно монтируются на заднем бампере автомобиля. В основе ультразвукового принципа обнаружения препятствий лежит принцип эхо локации (излучение импульсов и обнаружение отраженной волны). Один и тот же преобразователь, используется и для излучения и для приёма. Ос-

новное назначение датчиков – обнаруживать присутствие или отсутствие препятствия, а также по времени возвращения эха при известной скорости распространения звука позволяет оценить расстояние до объекта. Приведенная ниже схема, позволяет использовать один датчик для генерации и приема импульсов (рис. 2).

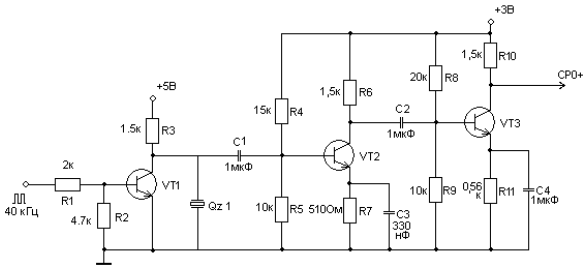


Рис. 2 схема излучателя и приёмника

Экспериментальная система использует 2 таких датчика, что минимально необходимо для детектирования препятствий. В качестве усилителей используются транзисторные схемы, обладающие достаточным усилением на частоте 40кГц.

Рассмотрим алгоритм работы устройства (рис. 3).

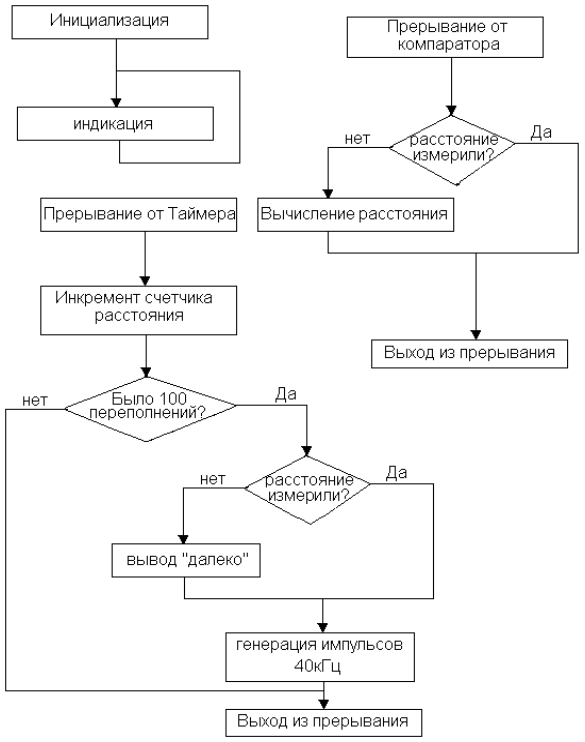


Рис. 3. алгоритм работы парктроника

Блок инициализации настраивает выводы микроконтроллера, устанавливает режимы работы таймера и компаратора. Основная программа выводит содержимое регистров на индикаторы. Подпрограмма обработки прерывания таймера инкрементирует счетчик расстояния. Таймер переполняется за время, когда волна проходит 2 см, т. е. отмечается 1 см расстояния до препятствия. Если таймер переполняется более 100 раз (на расстоянии 1 м нет препятствий) происходит запуск новых импульсов. Подпрограмма обработки прерывания компаратора конвертирует содержимое счетчика расстояния в регистры для индикации, если этот процесс уже не произошел. Таким образом, из алгоритма работы следует погрешность измерения в 1 см, при условии выполнения прерывания компаратора на последнем до переполнения такте счетчика. Скорость звука является функцией температуры и состава среды, что влияет на точность измерения расстояния. Зависимость скорости звука от температуры выражается по формуле: $c = \sqrt{\frac{\gamma kT}{m}}$, где γ – показатель адиабаты; k –Постоянная Больцмана; t – температура в градусах Цельсия; m – молекулярная масса[4] и приведена на рис. 4.

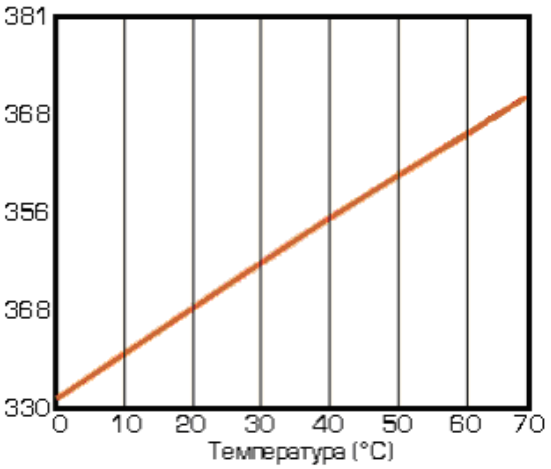


Рис. 4. Зависимость скорости звука от температуры среды

В общем виде расстояние вычисляется по формуле: $S = \frac{v}{2} \cdot t$, где v – скорость звука, t – время с момента отправки импульса до его прихода обратно. Следовательно, изменение скорости звука на 40% (максимально возможный разброс температур) меняет показания датчика.

В итоге получаем 10% погрешности измерений расстояния до препятствия в зависимости от температуры и максимально 10% погрешность метода вычисления расстояния. Проектируемое устройство должно начать сигнализировать о препятствии, если препятствие ближе чем 1 м. Максимальный уровень сигнала должен наблюдаться на 20–15 см от препятствия. Учитывая погрешности, устройство будет выдавать максимальный сигнал на расстоянии более 10 см, что является нормальным для такого типа устройств.

В ходе исследования было разработано устройство для парковки автомобилей, использующее 2 датчика. Недостатками такого парктроника являются: наличие «мертвой зоны», где невозможно детектирование препятствия, невосприим-

чивость к препятствиям с малой площадью отражения, например вертикальный столбик. К достоинствам можно отнести: относительную простоту реализации, низкую стоимость, достаточные для такого типа устройств расстояния детектирования препятствий.

Список литературы

1. http://www.autobam.ru/service-types/5
2. Документация к микроконтроллерам C8051F06x
3. Дж. Фрайден современные датчики. Справочник. Москва Техносфера 2006– 592с.
4. http://ru.wikipedia.org/wiki/Скорость_звука

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ ГИРОДИНА

Бритова Ю.А., Лянзбург В.П., Андросов В.Я.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор ТПУ

ОАО «НПЦ «Полюс», 634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»
E-mail: POLUS@ONLINE.TOMSK.NET

К электромеханическим исполнительным органам, в частности к гиродинам (ГД), систем ориентации и стабилизации предъявляются повышенные требования по уровню возмущающих моментов [1].

Для измерения и последующей минимизации этих моментов разработан стенд, позволяющий определять в динамическом режиме их значения вокруг трех координатных осей (рис. 1).

Принцип действия стенда основан на определении сил, действующих относительно координатных осей ГД в состоянии свободного подвеса. Для этого используются пьезоэлектрические датчики силы, технические характеристики которых соответствуют требованиям, предъявляемым к возмущающим моментам по частотному, динамическому диапазонам, а также по компрессии. Датчики ориентированы по направлению осей *OX* и *OZ* ГД.

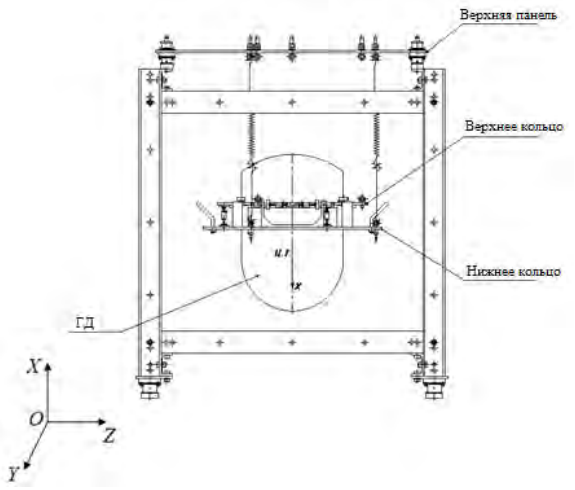


Рис. 1. Стенд для измерения возмущающих моментов ГД

Электрический заряд с выхода датчика силы преобразуется в выходное напряжение и усиливается посредством согласующего усилителя. Сигнал с выхода последнего поступает на канал модуля анализатора спектра PULSE (рис. 2).

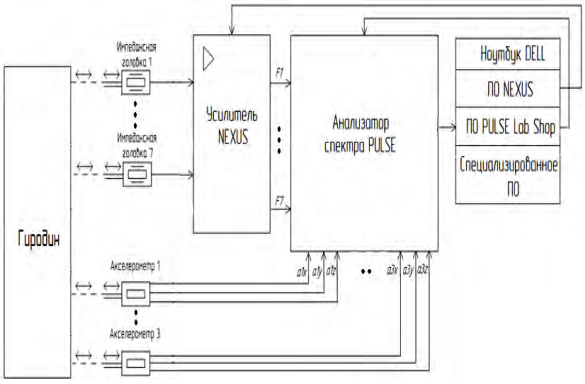


Рис. 2. Функциональная схема стенда

Механическая часть стенда состоит из жесткого основания с двухкаскадной системой амортизации, устанавливаемого на фундамент, и пружинной подвески, а также подвешиваемого к раме приспособления. Приспособление включает в себя два кольца, на которых установлены датчики силы. ГД размещается на верхнем кольце.

Для измерения нижней резонансной частоты системы подвеса и определения фаз колебаний колец приспособления на стенд дополнительно устанавливаются трехосевые акселерометры: на кольцах приспособления и раме стенда.

Сигнал с датчиков силы и акселерометров поступает в блок обработки информации, где по алгоритму посредством специализированного программного обеспечения (ПО) формируются значения измеряемых моментов по осям.

В качестве входных средств измерения используются импедансные головки типа 8001 (рис. 3, *а*) и трехосевые акселерометры (осевое, радиальное, тангенциальное направления) фирмы Bruel&Kjaer (рис. 3, *б*).

Импедансные головки имеют следующие характеристики: максимальная нагрузка на разрыв (статика плюс динамика) 300 Н; максимальная нагрузка на сжатие (статика плюс динамика)

2000 Н; погрешность измерений ±5 % в диапазоне частот от 1 до 6000 Гц; чувствительность

370 пКл/Н (370 мВ/Н).



а *б*

Рис. 3. Входные средства измерения: а – импедансная головка 8001; б – трехосевой акселерометр

Технические характеристики акселерометра: чувствительность 10 мВ/g; частотный диапазон по осям: *X* – от 1 до 11 000 Гц; *Y* – от 1 до 9000 Гц;

Z – от 1 до 18 000 Гц.

Для согласования выхода импедансной головки с анализатором спектра используется четырехканальный кондиционирующий усилитель NEXUS-2692 (рис. 4) со следующими характеристиками: частотный диапазон от 0,1 до

100 000 Гц; коэффициент усиления от 0,1 мВ/пКл до 10 В/пКл (от минус 40 до +80 дБ при емкости датчика 1 нФ); погрешность измерений ±0,1 дБ в диапазоне частот от 1 до 22 000 Гц; кабель, соединяющий усилитель NEXUS и анализатор PULSE, – коаксиальный типа BNC-BNC [2].



Рис. 4. Кондиционирующий усилитель NEXUS-2692

Посредством коаксиальных кабелей выходные каналы усилителя подключаются к входным каналам анализатора спектра PULSE типа 3560-D (рис. 5), который осуществляет измерение и обработку данных и имеет следующие технические характеристики: частотный диапазон анализа от 0 до 25,6 кГц; динамический – от 0 до 100 дБ; погрешность измерений $\pm$0,1 дБ; 25 входных и 5 выходных каналов модулей генератора [3]. На каждом входном канале анализатора задаются программные фильтры верхних частот 0,7; 7; 22,4 Гц. Фильтры низких частот устанавливаются программно в параметрах анализатора.

Анализатор спектра PULSE представляет собой платформу сбора и обработки данных. В его корпусе установлено до семи модулей (до 65 входных и/или 10 выходных каналов генератора), два из которых служат для питания постоянным током и управления, а остальные являются измерительными (ввод/вывод) и выбираются в зависимости от решаемых задач.



Рис. 5. Анализатор спектра PULSE типа 3560-D

Специализированное ПО анализатора спектра PULSE обеспечивает измерение сил, действующих по координатным осям ГД при его работе с номинальной частотой вращения, и определение возмущающих моментов при известных конструктивных параметрах.

Кроме того, ПО позволяет проводить настройку стенда, а именно:

• первоначальное уравновешивание с целью совмещения проекции центров масс выключенного ГД и приспособления с центром рамы по показаниям датчиков, установленных на нижнем кольце приспособления;

• расположение приспособления в плоскости горизонта согласно показаниям датчиков, перекрестно установленных на верхнем кольце приспособления;

• определение фаз колебаний колец приспособления и нижней резонансной частоты системы подвеса.

Разработанный стенд позволяет определять возмущающие моменты, действующие относительно координатных осей ГД, создаваемые погрешностями изготовления и сборки шарикоподшипникового узла, неуравновешенностью ротора-маховика, электромагнитными воздействиями.

Список литературы

1. Петрищев В.Ф. Элементы теории гироскопа и его применение для управления космическими аппаратами: учеб. пособие. – Самара, 2004.
2. Техническая документация на согласующие усилители NEXUS типов 2690, 2691, 2692 и 2693: Руководство пользователя / Bruel&Kjaer. 2005.
3. Универсальная многофункциональная система анализа PULSE 3560: Руководство пользователя / Bruel&Kjaer. 2006.

ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ. СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Бурцева Л.Б., Редько В.В.

Научный руководитель: Редько В.В., к. т. н., доцент

Томский политехнический университет, РФ, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Lubai@tpu.ru

На всех этапах производства кабельное изделие подвергается различным видам контроля и испытаний. Одним из наиболее часто используемых методов испытания кабельного изделия является электроискровой метод. Суть метода заключается в прикладывании к каждому участку поверхности изоляции кабельного изделия высокого напряжения различных форм непосредственно в процессе его движения по экструзионной линии. При прохождении кабельного изделия через зону высокого напряжения в месте дефектного участка в изоляции, вследствие резкого снижения электрической прочности изоляции, происходит искровой пробой, что фиксируется аппаратурой испытательного оборудования (искрового испытателя (рис. 1)). Такое испытание позволяет выявить и максимально быстро устранить различные виды дефектов в изоляции кабельного изделия, а также исключить возможность возникновения массового брака продукции.

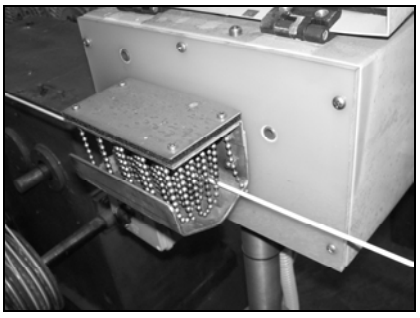


Рис. 1 Электродный узел искрового испытателя и положение испытуемого кабеля в нем

Положения ГОСТ 2990-78 [1], в котором определены требования к испытательному оборудованию и условиям испытаний изоляции кабельных изделий электроискровым методом, уже давно вызывают недовольство среди метрологических служб предприятий РФ. Например, давно поднят вопрос о том, что в действующем стандарте отсутствуют требования к испытаниям на постоянном напряжении, из-за чего, несмотря на очевидную выгоду, данный вид испытаний нельзя использовать. Также сложны для выполнения требования стандарта, предъявляемые к выбору минимальной длины электродного узла, оценке быстродействия электроискрового испытателя и к минимальной длительности регистрируемых пробоев [2]. И это далеко не полный перечень вопросов, касающихся несоответствия действующего стандарта современным условиям. Поэтому на данный момент разработан и обсуждается проект нового стандарта на электроискровой метод испытания, учитывающий все недостатки [3]. Ввести в действие этот стандарт планируется уже к началу 2011 года. Многие положения обсуждаемого стандарта отличаются от прежних, что ставит перед метрологическими службами кабельных предприятий ряд задач по изменению условий электроискрового метода испытаний. В частности возникает необходимость в разработке оборудования и методики для аттестации искровых испытателей, которые бы полностью соответствовали новым требованиям.

Вывод о необходимости разработки аттестационного оборудования можно сделать исходя из данных о распространенности испытательного оборудования на предприятиях кабельной промышленности. Для подавляющего большинства видов кабельных изделий и полуфабрикатов типа изолированная жила, входящих в состав более сложных кабельных изделий, электроискровой метод испытания является обязательным, поэтому искровые испытатели различных видов присутствуют практически на каждой экструзионной линии и участках контрольных перемоток любого кабельного предприятия. Учитывая, что в среднем на каждом кабельном предприятии не менее 10 экструзионных линий, примерно столько же участков перемоток, а предприятий кабельной промышленности в России не менее 200, можно сказать, что в стране используется минимум 4000 единиц испытательного оборудования. Такое количество испытателей требует от метрологических служб предприятий их эксплуатирующих немалых затрат сил и времени. Разрабатываемое аттестационное оборудование обеспечит простоту и легкость в использовании и снижение затрат по времени, затраченного на аттестацию испытательного оборудования.

Реализация проекта по разработке аттестационного оборудования проходит на кафедре ИИТ ТПУ совместно с ООО «НПО Редвилл» [4]. Аттестационное оборудование планируется реализовать в виде мобильной установки. Это должно значительно облегчить процедуру аттестации испытателей, устранить затруднения, связанные с выводом из эксплуатации с линии испытателей на длительное время, трудности с монтажем и демонтажем габаритных испытателей.

Основными пунктами аттестации являются:

1. Определение относительной погрешности измерения испытательного напряжения внутренних киловольтметров искровых испытателей.

2. Проверка допустимых отклонений испытательных напряжений при изменении уровней напряжения и частоты питающей сети и при максимальных нагрузках.

3. Проверка чувствительности к определению дефектов.

4. Измерение максимальных токов короткого замыкания.

Первым основным пунктом процедуры аттестации является калибровка внутреннего киловольтметра искрового испытателя. В соответствии с новыми нормативными требованиями аттестационная установка должна содержать средства для измерения испытательных напряжений всех форм: переменного частотой 50 Гц, переменного в диапазоне частот от 500 Гц до 1 МГц, а также постоянного и импульсного напряжений. Проверка производится с помощью сравнения показаний образцового киловольтметра аттестационной установки и внутреннего киловольтметра искрового испытателя. По нормативным требованиям инструментальная погрешность образцового киловольтметра не должна превышать ±2%.

Основной элемент образцового киловольтметра – высоковольтный делитель напряжения. На данный момент разработан делитель высокого напряжения, линейность амплитудно-частотной характеристики которого имеет уровни отклонения, достаточные для поддержания заданной точности измерения в диапазоне частот до 1 МГц при уровнях измеряемых напряжений до 40 кВ.

Для проверки допустимых уровней отклонений в измерении испытательного напряжения при изменении амплитуды и частоты питающего напряжения и нагрузки аттестационная установка должна иметь в составе средства, имитирующие с заданной точностью указанные условия.

Проверка чувствительности по определению дефектов будет производиться по методике, изложенной в проекте готовящегося ГОСТа. Для ее реализации планируется разработать устройство, имитирующее пробой в изоляции – генератор дефектов. Указанное устройство подключается между электродом и заземлением и с помощью сопротивления при самых низких испытательных напряжениях задается ограничение по току. Затем генерируется некоторое количество дефектов, каждый их которых должен быть подсчитан без ложных срабатываний. Ту же проверку повторяют при закороченном сопротивлении, подключенной максимальной нагрузке и при максимальных испытательных напряжениях. Сложность задачи заключается в том, чтобы точно ограничить время пробоя генератора дефектов, т. к. оно должно соответствовать минимальному времени срабатывания автоматики искрового испытателя. Такое ограничение можно осуществить включением после искрового промежутка генератора дефектов высоковольтного реле, время срабатывания которого равно минимальному времени срабатывания автоматики испытателя. К вышеописанным требованиям по характеристикам подходят высоковольтные реле фирмы GIGAVAC (США). С их помощью можно реализовать конструкцию, обеспечивающую ряд пробоев со строгой периодичностью и ограничением по времени.

Помимо всех перечисленных блоков аттестационная установка дополнится устройствам, обеспечивающим измерение токов, и измерительным щупом.

Важной задачей остается метрологическое обеспечение аттестационного оборудования, т. к. по ГОСТ Р 8.568-97 [5] требуется проведение испытаний с целью утверждения типа средств измерений, входящих в состав установки, или всей установки, как измерительной системы, разработка методики аттестации.

В результате выполненной работы определены основные этапы проектирования элементов аттестационного оборудования. На данный момент часть из этих элементов реализована и проверена на соответствие запрашиваемым характеристикам, разработки продолжаются. В будущем планируется заявка на полезную модель.

Список литературы:

1. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
2. Свендровский А.Р., Редько В.В. Предложения по внесению изменений в требования стандарта ГОСТ 2990-78 «Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением» // «Кабели и провода» №2, 2009. – С. 32–33.
3. ВНИИКП. Проект стандарта на электроискровой метод испытания изоляции кабельных изделий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.vniikp.ru/patent_page. phtml?item_ id=2235 свободный. – Загл. с экрана.
4. ООО «НПО «Редвилл» (РФ). Сайт компании. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.redwill.ru свободный. – Загл. с экрана.
5. ГОСТ Р 8.568-97. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА С ПК В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Вахрушев Д.В., Якимов Е.В.

Научный руководитель: Якимов Е.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vdv.18@mail.ru

При разработке системы контроля соосности сварных соединений бурильных труб, выполняемой сотрудниками кафедры информационно-измерительной техники ТПУ, возникла проблема сопряжения компьютера с цифровым индикатором часового типа. Индикаторы, входящие в систему, измеряют смещение штока при прокручивании трубы вокруг продольной оси. По максимальному отклонению определяется оценка радиальной и угловой несоосности тела трубы и приварного замка [1].

Для обработки измерительной информации в системе используется персональный компьютер (ПК). Для передачи данных на компьютер цифровые индикаторы имеют выход RS-232, который соединяется с ПК через дополнительное устройство сопряжения. Однако предлагаемый фирмой-производителем вариант устройства сопряжения с ПК либо не позволяет автоматизировать измерения и передачу данных на ПК (предусмотрена передача только по нажатию кнопки), либо стоимость устройства сопряжения значительно превышает стоимость измерительных приборов.

Поскольку метрологические характеристики цифрового индикатора полностью удовлетворяют требованиям системы, было принято решение разработать собственный вариант устройства сопряжения. При этом необходимо было решить следующие задачи:

- определить формат передачи данных цифрового индикатора, поскольку информацию о нем производитель не предоставляет;
- выбрать интерфейс и формат выходных данных, разрабатываемого устройства сопряжения;
- разработать программу для ПК для приема и обработки измерительной информации.

Для определения формата передачи данных с цифровых индикаторов было записано более 100 осциллограмм сигналов, идущих из индикатора, при различных значениях показаний на индикаторе (рис. 1). Проанализировав осциллограммы, было определенно, что данные предаются последовательно 6 байтами, из них 3 последних переданных байта представляют данные индикатора в обратном коде. Передаваемые данные (1 – верхний сигнал на рис. 1) сопровождаются синхронизирующим сигналом (2 – нижний сигнал). Передача осуществляется 3 раза в секунду. Амплитуда сигналов порядка 0.7 В.

Поскольку передача данных с индикатора идет на медленной скорости (пакет передается 3 раза в секунду по 6 байт) в качестве интерфейса выходных данных разрабатываемого устройства сопряжения был выбран интерфейс COM порта, со скоростью передачи данных 9600 бит в секунду с 1 стоп битом. Формат передачи по интерфейсу построен следующим образом: первым передается символ «<« – начало передачи данных, 3 байта с данными цифрового индикатора часового типа в обратном коде, затем символ «>« конца данных и завершающий символ возврата каретки – 13.

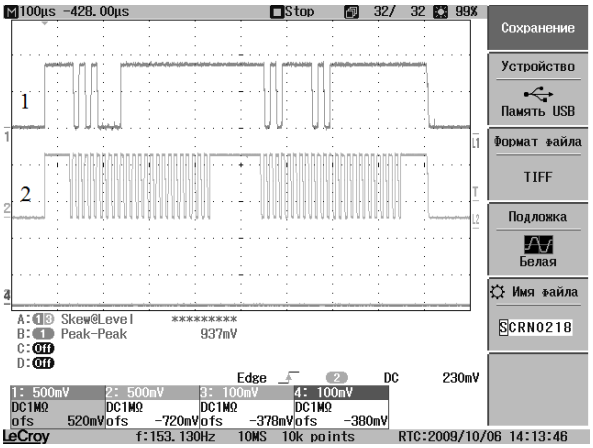


Рис. 1. Осциллограмма выходных данных цифрового индикатора часового типа

Схема разработанного устройства сопряжения цифрового индикатора часового типа с ПК (рис. 2) включает 2 транзистора VT1 и VT2 для инвертирования и повышения уровня сигнала до напряжения питания микроконтроллера равного 5 В. На базу транзистора VT1 подается синхросигнал 2, на базу транзистора VT2 сигнал данных 1. Выход микроконтроллера PD1/TXD используется для передачи данных на COM порт ПК.

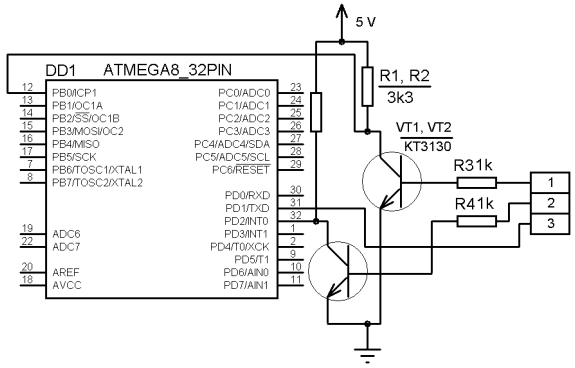


Рис. 2. Схема устройства сопряжения цифрового индикатора часового типа с ПК

Устройство сопряжения выполнено на микроконтроллере фирмы ATMEL ATmega8 [2]. ATmega8 – высокопроизводительный 8-разрядный AVR микроконтроллер с малым энергопотреблением. Большинство команд микроконтроллера выполняется за один тактовый цикл, что дает возможность быстрой временной оценки выполнения программы контроллера. Микроконтроллер включает в себя 8 Кбайт внутрисхемной программируемой Flash памяти, 1 Кбайт встроенной SRAM, большое количество встроенной периферии, включая программируемый последовательный интерфейс USART, наличие внешнего источника прерывания и встроенного программируемого калиброванного RC-генератора до 8 МГц.

Программа для микроконтроллера написана на языке программирования высокого уровня Си с использованием программного обеспечения WinAVR и AVRStudio. Функционально программа на микроконтроллер состоит из главной функции, функции обработки прерывания, функции инициализации USART интерфейса только на передачу и функции передачи байта через USART интерфейс.

Главная функция main() – производит инициализацию работы USART приемопередатчика на передачу и запуск внешнего прерывания, затем запускается бесконечный цикл.

Подпрограмма обработки прерывания вызывается при появлении синхроимпульса (положительный фронт на 31 выводе (PD2/INT0) микроконтроллера). Подпрограмма считывает бит данных и запоминает его в массив, одновременно подсчитывая количество синхроимпульсов. При достижении 48 синхроимпульсов, последние три байта массива данных передается в ПК, счетчик синхроимпульсов сбрасывается, и так повторяется при каждом считывании данных.

Функция обработки внешнего прерывания:

```
uint8_t ubuf, i, j, a[6];
ISR(INT0_vect) {
    ubuf=ubuf<<1;
    ubuf=ubuf|(PINB&0b00000001);
    i++;
    if(i>=8){
            i=0;
            a[j]=ubuf;
            j++;
            if(j>=6)
            {
                    j=0;
                    USART_vSendByte('<');
                    USART_vSendByte(a[3]);
                    USART_vSendByte(a[4]);
                    USART_vSendByte(a[5]);
                    USART_vSendByte('>');
                    USART_vSendByte(13);
            }
    }
}
```

Использование внешнего прерывания микроконтроллера позволяет значительно уменьшить загрузку процессора и дает возможность добавить код для дополнительной обработки передаваемых данных.

Программа для ПК, осуществляющая прием и обработку данных передаваемых с цифровых индикаторов через устройство сопряжения, написана на LabView. Для приема данных использованы компоненты VISA. Выходным сигналом компонента **VISA Read** является строка символов, соответствующих числовым передаваемым данным в обратном коде. Для преобразования строки в десятичное число с плавающей точкой был разработан специальный блок (рис. 3).

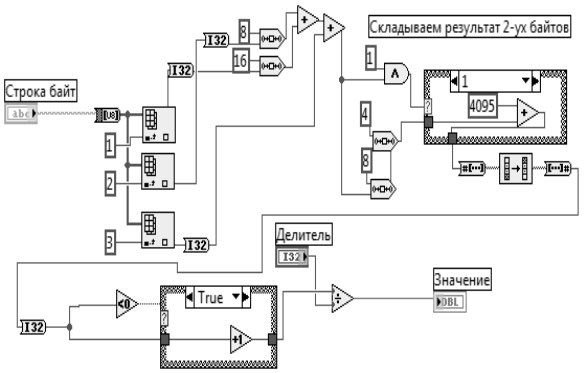


Рис. 3. Блок преобразования строки в десятичное число с плавающей точкой

Разработанное устройство сопряжения цифрового индикатора часового типа с ПК представляет собой малогабаритное устройство, цена которого в основном определяется дешевым микроконтроллером. В отличие от предлагаемых фирмой-производителем устройств сопряжения данное устройство позволяет автоматизировать процесс измерения и стоит значительно меньше, чем цифровой индикатор.

Данное устройство в дальнейшем при небольшой модификации схемы и программы на микроконтроллер, предполагается использовать для разработки беспроводного интерфейса связи цифрового индикатора часового типа с ПК.

Список литературы

1. Гольдштейн А.Е., Уразбеков Е.И., Якимов Е.В. Система контроля соосности приварных замков бурильных труб. // Становление и развитие научных исследований в высшей школе: Сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А.Воробьева – Томск, ТПУ, 14–16 сентября 2009. – Томск: Изд. ТПУ, 2009. – с. 51–56
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М.: «Додэка – XXI», 2008. – 558 с.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОДНОФАЗНОМ МАГНИТОПРОВОДЕ

Волков А.В., Игольников Ю.С.

Научный руководитель: Игольников Ю.С., к.т.н., доцент

Мордовский государственный университет, 430000, Россия, г. Саранск, Б.Хмельницкого, 39
E-mail: elsoldador@rambler.ru

Устройство относиться к преобразователям трехфазного напряжения, выполненным на однофазном магнитопроводе и предназначенным для питания потребителей как постоянного так и переменного тока. Трансформатор содержит 3 фазные первичные обмотки со средней точкой. В [1, 2] описана взаимосвязь в работе элементов преобразователя рис. 1.

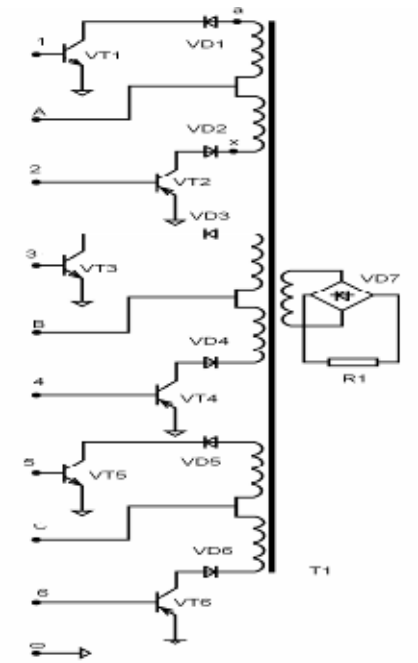


Рис. 1. Силовая часть

Работа схемы осуществляется в соответствии с векторной диаграммой рис. 2.

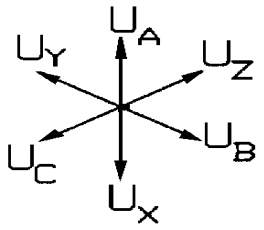


Рис. 2. Векторная диаграмма

Как видно из векторной диаграммы, протекание тока через управляемые вентильные элементы осуществляется в соответствии с порядком следования фазных напряжений сети U_A–U_Z–U_B–U_X–U_C–U_Y.В качестве управляемых вентильных элементов использовались биполярные транзисторы. Например при работе фазы А в положительный полупериод ток проходит от зажима х. первичной обмотки через диод VD2 и транзистор VT2. В отрицательный полупериод под действием напряжения U_x ток проходит от зажима а через диод VD1 и транзистор VT1. Структурная схема устройства управления приведена на рис. 3.

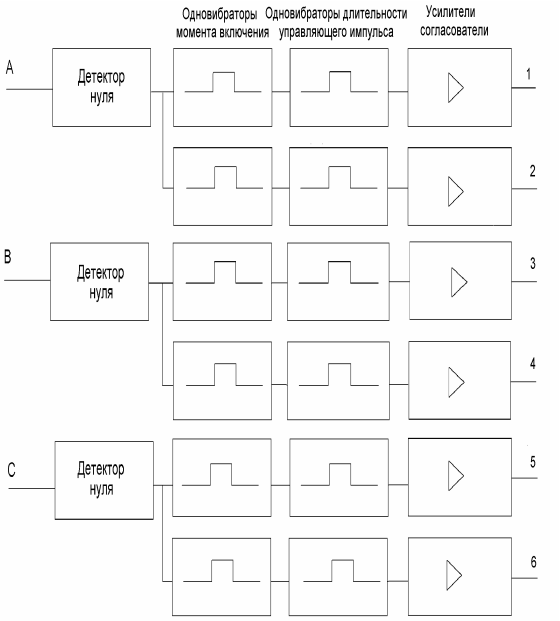
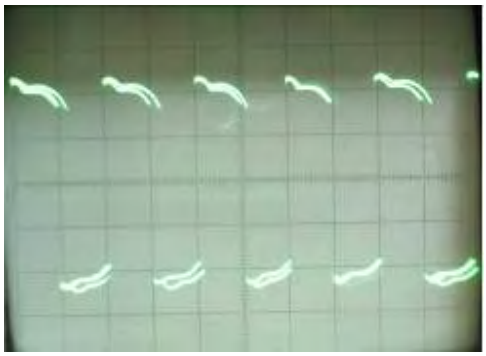


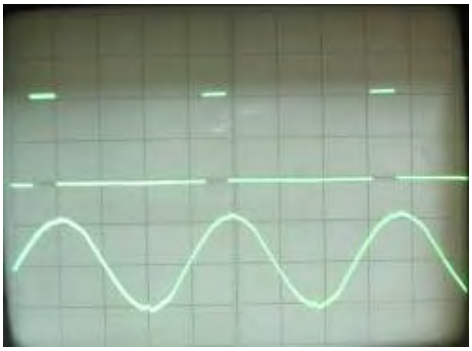
Рис. 3 Структурная схема

Фазные напряжения U_A,U_B,U_C подаются на детекторы нуля. Выходные сигналы детекторов нуля управляют одновибраторами, которые обеспечивают задержку на 30 эл.град. относительно положительных и отрицательных полуволн сетевого напряжения. Далее с этих одновибраторов сигналы поступают на одновибраторы, которые определяют порядок включения управляемых вентильных элементов через 60 эл. град. В качестве транзисторов VT1-VT6 применены транзисторы типа КТ818 и КТ819. Выходной сигнал одновибратора, определяющего длительность включения транзистора, подаются на один из усилителей – согласователей, выход которого управляет одним из силовых транзисторов VT1-VT6. Транзисторы открываются в положительные и отрицательные полупериоды сетевого напряжения. Транзисторы VT1,VT3,VT5 открываются только в отрицательные полупериоды сетевого напряжения, а транзисторы VT2,VT4,VT6 – положительные полупериоды. Проводилась экспериментальная проверка

работы схемы на макетном образце, изготовленном в лабораторных условиях. Осциллограммы напряжений на элементах схемы рис. 1, полученные экспериментальным путем приведены на рис. 4. На рис. 4 показано: рис. 4а – напряжение на вторичной обмотке трансформатора, рис. 4б – управляющий сигнал фазы А (верхний луч), синхронизированной относительно фазного напряжения этой фазы (нижний луч). А на рис. 5 приведено фото макета устройства. На рис. 6 показан ток нулевого провода, а на рис. 7 показан ток одной из обмоток трансформатора.



а)



б)

Рис. 4. Осциллограммы: а) напряжение на вторичной обмотке трансформатора; б) управляющий сигнал фазы А (верхний луч), синхронизированной относительно фазного напряжения этой фазы (нижний луч)

Анализ экспериментальных осциллограмм проверки показал совпадение их с теоретическими [2]. Проведенная экспериментальная проверки и анализа результатов показала возможность дальнейшего усовершенствования силовой схемы, и схемы управления в направлении их упрощения.

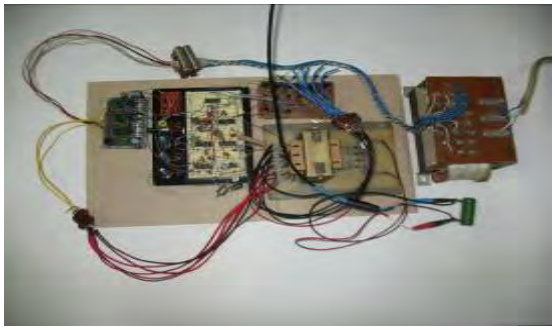


Рис. 5. Экспериментальный макет устройства



Рис. 6. Форма тока нулевого провода



Рис. 7. Форма тока на одной из обмоток трансформатора

Список литературы

1. Игольников Ю.С., Нестеров С.А. Преобразователь трехфазного переменного напряжения в постоянное. Патент РФ №2149495. Опубл. 20.05.2000. Бюл. №14.
2. Игольников Ю.С., Нестеров С.А.., Демидов И.В. Анализ работы преобразователей трехфазного напряжения на однофазном магнитопроводе // Электротехника 2004. №1. С.30–33.

ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ СОЧЕТАНИЯ ПРОТОЧНОГО ПРИЕМНИКА ДАВЛЕНИЯ И СТРУЙНО-КОНВЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Галяутдинова А.Н., Порунов Н.А.

Научный руководитель: Порунов А.А, к.т.н, профессор

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева, 420111, Казань, К.Маркса, 10
E-mail: Adelina603@yandex.ru

Вертикальная скорость и высота полета является одним из основных пилотажно-навигационных параметров, определяющих положение и динамику движения летательного аппарата (ЛА) в вертикальной плоскости. Одним из перспективных направлений создания датчиков высотно-скоростных параметров (ВСП), является их построение на основе сочетания пневмомеханического дифференцирования (ПМД), с получением информационного сигнала в виде расхода с последующим его преобразованием, посредствам струйно-конвективного преобразователя (СКП). В работе рассмотрены принципы построения двух оригинальных вариантов построения датчика ВСП, отличающихся расширенными функциональными возможностями как с точки зрения числа измеряемых параметров, так и повышения точности при обеспечении требуемых динамических характеристик.

В основе принципа формирования первичного (пневматического) сигнала $dp/dt = \dot{p}_k$, пропорционального скорости изменения барометрической высоты dh/dt лежит процесс ПМД, который описывается функцией преобразования, полученной на основе уравнения баростатики с учетом особенностей состояния атмосферы до высот 11000 м, в следующем виде

$$\dot{p}_k = K_h \dot{h}, \qquad (1)$$

где $k_{\dot{h}}$ – коэффициент пропорциональности $k_{\dot{h}} = 2p_h / RT_0\left[1+(p/p_0)^{R\tau}\right]$.

В случае использования в качестве первичного (пневматического) сигнала массового расхода воздуха по пневмоканалу, сообщающему глухую камеру с приемником статического давления функция преобразования примет следующий вид

$$G_u = \kappa_G \dot{p}_k - k_G k_T \dot{T}_k, \qquad (2)$$

где k_G, k_T – коэффициенты пропорциональности, определяющие вклад в первичный сигнал информативной составляющей и дестабилизирующего фактора каковыми являются температура в глухой камере T_k и скорость ее измерения.

Объединяя зависимости (1) и (2), получим функцию преобразования для датчика ВСП

$$G_u = Q\dot{h} - K_G K_T \dot{T}_k, \qquad (3)$$

где Q – чувствительность датчика ВСП по каналу вертикальной скорости.

Из последнего выражения (3) видно, что для датчика вертикальной скорости, основанного на ПМД характерны составляющие погрешности: одна из них аддитивного характера и пропорциональна скорости изменения температуры воздуха в глухой камере, а другая мультипликативная и определяется совокупными изменениями давления и температуры наружного воздуха.

Преобразователь содержит приёмник 1 статического давления, соединённый посредством трубопровода 2 и канала 3, образованного между теплоизолирующим кожухом 4 и термостатирующим стаканом 5, с каналом 6, содержащим формирующие сопла 7 и 8, снабженные анемочувствительным элементом 9 и 10, а так же с каналом 11, содержащим электропневмоклапан 12. Источник 13 опорного пневматического сигнала электрически подключен к генератору 14, а независимыми пневматическими каналами 15 и 16 соединен с формирующими соплами и анемочувствительным элементом. Канал 17, образованный между термостатирующим стаканом и корпусом 18, дифференцирующей камеры с каналом 6, содержащим анемочувствительный элемент и каналом 11, перекрытым электропневмоклапаном, подключенным через контакт 19 коммутатора 20 к бортовой сети. Анемочувствительные элементы связаны с электроизмерительными схемами 21 и 22, дифференциально включенными через делитель напряжения, собранный на резисторах R_1 и R_2 к входу усилителя 23, выход которого подключен к указателю 24, а через фазочувствительный выпрямитель 25 к потребителям сигнала вертикальной скорости на постоянном токе. На выход фазочувствительного выпрямителя подключен также функциональный генератор импульсов 26, связанный с коммутатором, через контакт 27 коммутатора на выход фазочувствительного выпрямителя подключена схема 28 формирования корректирующего напряжения, которая вместе со схемой запоминания 29 включена на вход усилителя. Электроизмерительные схемы связаны так же с выходом суммирующего элемента 30, включенного дифференциально с задатчиками 31 на вход элемента сравнения 32, подключаемого через контакт 33 коммутатора, в течение времени шунтирования канала с анемочувствительным элементом к элементу памяти 34 и схеме 35 управления коэффициентом передачи делителя

напряжения на резисторах R_1 и R_2 (например, оптрон). Нагревательный элемент 36 термостатирующего стакана подключен к системе термостатирования 37.

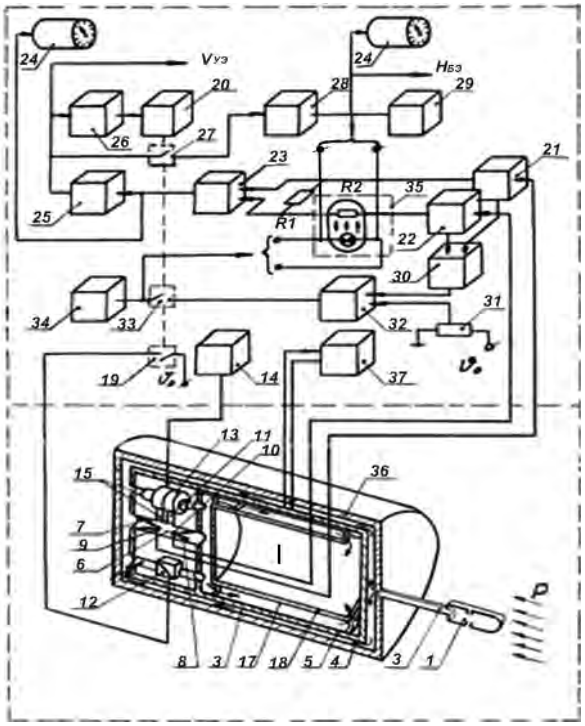


Рис. 1.Структурно-функциональная схема датчика ВСП на основе шунтирования канала, содержащего анемочувствительные элементы

Устройство для определения вертикальной скорости и высоты летательного аппарата содержит приемник статического давления 1, соединенный с дифференцирующей пневматической камерой 2 посредством пневматического канала 3. Полости 4 и 5 сообщены между собой посредством каналов источника опорного пневматического сигнала 6, и с приемником статического давления 1, каждая из полостей сообщена через дроссели 7 и 8, на выходе которых расположены анемочувствительные элементы 9, 10, включенные в электроизмерительные схемы 11, 12, гальванически связанные с входом усилителя 13, управляющего преобразователем напряжение-частота 14, вырабатывающим импульсное напряжение, частота которого пропорциональна вертикальной скорости. Средняя точка резистивного делителя напряжения 15 и выход потенциометрического задатчика 16 начальной высоты отсчета включены на вход элемента сравнения 17, выход которого подсоединен к входу корректора 18, управляющего коэффициентом усиления, а также к входу преобразователя напряжение-частота 19, выход которого подключен через коммутатор 20 к источнику опорного пневматического сигнала 6. Выход усилителя 13 связан с входом генератора управляющих импульсов 21, на выходе которого установлен коммутатор 22. Выход усилителя соединен с компараторами 23, 24, управляющими реверсивным счетчиком 25, третий вход которого через ключ 26 коммутатора 20 соединен с генератором опорной частоты 27; первый выход реверсивного счетчика подсоединен к индикатору функционирования 28, а второй – к преобразователю код-аналог 29, с выхода которого корректирующее напряжение поступает на вход усилителя. Нагревательный элемент 30 подключен на выход системы термостатирования 31.

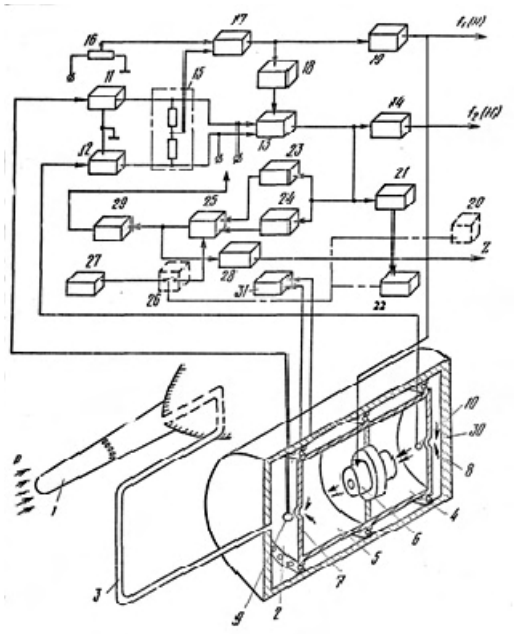


Рис. 2. Структурно-функциональная схема датчика ВСП на основе коммутации и источника опорного пневматического сигнала

Список литературы

1. В.М.Солдаткин, А.А.Порунов, В.В.Солдаткин. Основы проектирования измерительных приборов и систем: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – 380 с.
2. А.С. №689537 Преобразователь вертикальной скорости ЛА/Авт.: В.А. Ференец, А.И.Фоминых, Н.С Порунова, 1979, БИ.№36.
3. А.С. №695299 Преобразователь вертикальной скорости и высоты ЛА/Авт.: Ференец В.А., Фоминых А.И., Чикулаев В.В, 1979, БИ №40.
4. А.С. №836 909 Устройство для определения вертикальной скорости и высоты ЛА/Авт.: Чаус С.Н., Шируфуллин М.Ш., Захарова Н.С, 1981, БИ №16.

ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ СРЕДСТВАМИ АЭСА

Глазырин А.В., Шахов А.В.

Омский государственный университет путей сообщения
E-mail: Scythevolver@mail.ru

Назначение автоматизированных систем АЭСА типа «Аргон-5»

Спектрометр «АРГОН-5» и аналогичные предназначены для измерения величины аналитического сигнала, пропорционального интенсивности спектральных линий различных химических элементов. Спектрометр используется для количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа (АЭСА) металлов и сплавов на машиностроительных и металлургических предприятиях и в научно-исследовательских институтах. Автоматизированная система представления результатов анализа обеспечивает существенное повышение производительности лаборатории, а также, посредством использования инертного газа повышается достоверность результатов анализа. Однако у приборов такого типа существуют ещё и потенциальные возможности.

Влияние структуры на результаты спектрального анализа

Основные особенности влияния структуры сплавов на результаты спектрального анализа[1]:

Влияние структуры выражается как в смещении, так и в изменении угла наклона градуировочных зависимостей для образцов с различной термической обработкой или технологией изготовления.

Влияние структуры сказывается в разной степени при определении отдельных элементов.

При одном и том же виде термической обработки проявление влияния зависит от степени легирования сплавов.

Степень влияния структуры связана с видом термической обработки или технологией изготовления, предопределяющих конечную структуру пробы. Максимальные систематические расхождения в результатах анализа в большинстве случаев дают виды термической обработки, приводящие к набольшему различию в структуре (закалка – отжиг, отжиг – цементация или азотирование и т. д.)значительное влияние на результаты анализа оказывает также различие в структуре литых и отожженных проб. Ранее проводились и работы по снижению влияний структуры на результаты спектрального анализа.

Грикитом И. А. установлено, что под действием искровых разрядов происходит селективная «выработка» поверхности пробы с преимущественным выходом вещества по границам зерен и из междендридных пространств как более слабых мест кристаллов. Продолжительное обыскривание приводит к более энергичному разрушению поверхностных слоев, разрушению центральных частей дендридов, что исключает влияние структуры на поступление элементов пробы в облако низкотемпературной плазмы (НТП).

Теоретическое обоснование влияния структурных особенностей на изменение отклика интенсивностей спектральных линий можно объяснить изменением работы выхода электрона (РВЭ) в металлических системах. Работа выхода электрона, как и свободная поверхностная энергия, значительно зависит от состояния поверхности исследуемого образца, от распределения примесей на поверхности. Принципиально определяющую роль играет электронная структура исследуемого твердого или жидкого образца, которая обуславливает особенности поверхностного и приповерхностного слоев, с которых и происходит эмиссия электронов. Отсюда следует непосредственная связь работы выхода электрона с другими физико-химическими свойствами вещества.

Работа выхода электронов

Работа выхода электрона является важной энергетической характеристикой состояния металлов и связана определенным образом с физико-химическими свойствами [2]. Она является периодической функцией атомного номера, а также, как и свободная поверхностная энергия зависит от состояния поверхности исследуемого образца, от адсорбции примесей на поверхности. Важное значение имеет электронная структура исследуемого образца, она обуславливает особенности поверхностного и приповерхностного слоёв, с которых происходит эмиссия электронов.

С физической точки зрения, изменение суммарной интенсивности излучения какого-либо элемента $\Delta(\sum P) = \sum P_{x,э} - \sum P_{k,m}$, при $\Delta P = const$объясняется изменением структурных особенностей материала, в результате которых изменяется работа выхода элементарных частиц с поверхности электрода в облако плазмы и действием ударов второго рода.

$$W_{отн} = \Delta E_э/\Delta U_э = \Delta E_x/\Delta U_x = const, \quad (1)$$

где $\Delta E_э$, ΔE_x–энергии спектрального излучения соответственно для элемента СО (э) и пробы (x); $\Delta U_э$, ΔU_x– параметры, характеризующие количество выделившегося тепла для элемента СО и пробы.

При с условии (1) можно получить двумя путями:

1) оставляя величину $\Delta P_{x,э}$ постоянной, изменение энергии спектрального излучения осуществ-

лять за счет изменения характеристики $\sum P_{х,э}$. То есть переход к изолированной системе производится при неизменной составляющей количественного содержания. Подобная замкнутая система будет характеризовать только количество содержащихся в материале элементов. На этом и основан предлагаемый метод количественного анализа;

2) оставляя $\sum P_{х,э}$ постоянным, составляющую теплообмена с внешней средой компенсировать изменением параметра $\Delta P_{х,э}$, определяющего количественный состав материала. Здесь компенсация части внешнего энергетического воздействия производится за счет составляющей количественного состава.

Многопараметровый метод. Равновесные. Изолированные системы

Изолированные системы [3] – системы, в которых исключается влияние внешних факторов (работа всех внешних сил равна нулю), т.е. состояние низкотемпературной плазмы определяется только взаимодействием электронов, нейтральных атомов и ионов.

Равновесные системы – системы, в которых учитывается общее изменение интенсивностей спектра по абсолютной величине, т.е. проявляется учёт закона сохранения энергии в процессах, происходящих в аналитическом промежутке.

Однопараметровый (классический) метод не обеспечивает требуемой достоверности результатов. Использование изолированных систем как на аппаратном, так и на методическом уровне, а также равновесных систем максимально снижает влияние внешних и случайных факторов на результаты атомно-эмиссионного спектрального анализа. Таким образом получаются устойчивые градуировочные графики в длительном периоде времени [4], что позволяет снизить необходимость в постоянной перекалибровке при проведении испытаний.

Многопараметровый анализ включает в себя 4 входных параметра: это интенсивности пробы и эталона (линии аналитические и сравнения), которые сравниваются между собой как по абсолютной величине, так и по относительным значениям. В результате получаем коэффициент усиления излучения проба-эталон и эталон-проба, через сравнение которых можно анализировать процессы, которые привели именно к таким значениям интенсивностей, полученных со спектрометра.

Аппробация метода. Приборы

При неизвестном количественном составе многопараметровый анализ позволяет достоверно определять концентрации элементов в пробе, а при известном – определять физико-механические свойства: Твердость, упругость, предел текучести и.др. Последнее осуществляется путём анализа изменения интенсивностей линий сравнения при известном количественном составе.

Ранее это было невозможно сделать из-за неопределенности природы погрешностей концентраций анализируемых элементов.

Проведены испытания на примере стального образца марки 95Х18. При испытаниях использована печь для проведения термообработки, твердомер для измерения твердости в единицах HRC.

Кроме того проведены испытания упругости на пружинных образцах (сталь 65Г) до и после проведения термообработки. Получены параметры, чувствительные к изменению упругости по измеренным интенсивностям спектров образцов.

Список литературы

1. Буравлев Ю.М. Влияние структуры на результаты спектрального анализа. – М.: ГосНТИЛ по черной и цветной металлургии, 1963.– С. 86.
2. Корольков В.А. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях расплавов и твердых фаз на металлической основе. – М.: Металлургия, 1995. – С. 31.
3. Кузнецов А.А. Комплексные методы диагностирования промышленных изделий и узлов подвижного состава средствами атомно-эмиссионной спектроскопии. – М.: Спутник, 2005. – С. 120.
4. Кузнецов А.А.; Глазырин А.В.;Мешкова О.Б. Способ создания устойчивых градуировочных зависимостей в автоматизированных системах спектрального анализа // Материалы научного семинара «Современный атомно-эмиссионный анализ и науки о Земле». ИГХ СО РАН. – Иркутск, 2009. – С. 52.

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА

Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Ткаченко Н.Ю.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634029, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: GFAddTPU@tpu.ru

Лазеры на парах металлов надежно зарекомендовали себя как эффективные источники излучения в различных областях науки и техники. Рекордные на сегодняшний день энергетические параметры лазеров на парах металлов получены с так называемыми медными гибридными лазерами (CuHyBrID) [1, 2]. Принцип работы этих лазеров основан на прокачке через активную среду смеси буферного газа Ne с галогеноводородом (HBr или HCl). В разряде происходит взаимодействие гало-

геноводорода с металлической медью, расположенной в канале газоразрядной трубки (ГРТ) с образованием молекул CuBr (CuCl), дальнейшей их диссоциацией и возбуждением атомов меди. Вместе с тем, прокачной принцип работы ограничивает их широкое практическое применение. На данный момент не известно ни одного сообщения об отпаянном варианте гибридного лазера. Одна из причин заключается в отсутствии эффективных генераторов галогеноводородов.

Новый способ получения генерации в парах металлов (по аналогии с гибридным лазером), предложенный В.Б. Сухановым, получил название «лазеры на парах металлов с внутренним реактором галогенида металла». Он основан на взаимодействии в разряде галогена в чистом виде (Br_2, Cl_2, I_2) с кусочками металла, расположенными в канале ГРТ, с дальнейшей диссоциацией галогенида металла и возбуждением атомов меди. Это стало возможным благодаря разработанному нами ранее натекателю галогенов (галогеноводородов) [3]. Натекатель осуществляет контроль концентрации вводимого в ГРТ галогена в широких пределах, что дает возможность, в отличие от гибридного лазера, работать в отпаянном режиме.

Конструкция активного элемента показана на рис. 1. ГРТ имела разрядный канал диаметром 1,7 см и длиной 40 см. Накачка осуществлялась с использованием традиционной схемы прямого разряда накопительного конденсатора [4], в которой в качестве коммутатора использовался тиратрон ТГИ1-1000/25 или таситрон ТГУ1-1000/25 (при частотах следования импульсов свыше 20 кГц)

Регистрация импульсов напряжения, тока и генерации производилась с помощью пробника напряжения Tektronix P6015A, датчика тока Pearson Current Monitor 8450 и коаксиального фотоэлемента типа ФК-22, соответственно. Средняя мощность излучения измерялась измерителем мощности Ophir 20C-SH. Регистрируемые датчиками сигналы подавались на четырехканальный цифровой осциллограф LeCroy WJ-324.

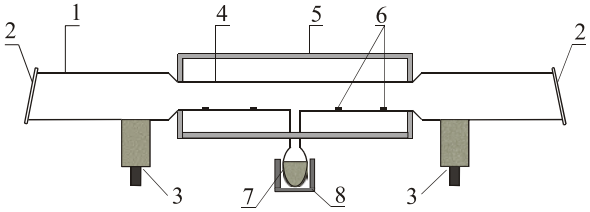


Рис. 1. Активный элемент CuBr-лазера с внутренним реактором галогенида:
1 – кварцевая трубка, 2 – выходные окна, 3 – электроды, 4 – рабочий канал, 5 – нагревательный элемент рабочей зоны, 6 – металл, 7 – натекатель галогена, 8 – нагревательный элемент

Результаты исследования зависимости средней мощности излучения Cu+Ne+Br_2-лазера от давления буферного газа Ne приведены на рис. 2. В каждой точке измеряемого давления рабочая емкость составляла 500 пФ, частота следования импульсов 17,5 кГц, температура стенки ГРТ поддерживалась на одном уровне во всем диапазоне, потребляемая от источника накачки мощность составляла 630–640 Вт. Как показывают результаты, область оптимальных давлений соответствует оптимальным давлениям обычных CuBr- и гибридных лазеров.

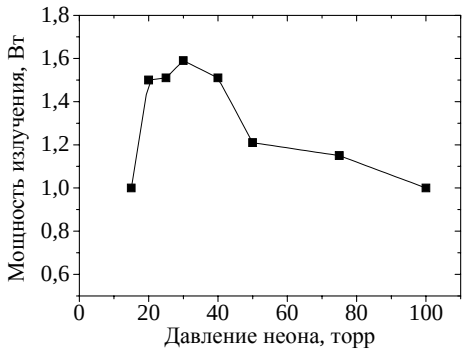


Рис. 2. Зависимость средней мощности генерации от давления буферного газа

При исследовании частотной зависимости мощности излучения для поддержания напряжения на источнике питания в пределах 4–5 кВ приходилось снижать величину рабочей емкости от 1000 пФ на 10 кГц до 200 пФ на 50 кГц. Давление неона составляло 20 торр. Зависимость приведена на рис. 3.

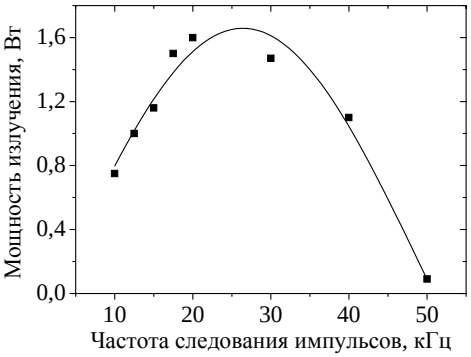


Рис. 3. Зависимость средней мощности генерации от частоты следования импульсов

Полученные ранее частотные зависимости для CuBr- [4] и гибридных лазеров [1] показывают, что их оптимальные частоты также соответствуют оптимальным частотам CuBr-лазера с внутренним реактором галогенида меди. К сожалению, характеристики коммутатора – таситрона не позволили измерить энергетические параметры лазера на частотах свыше 50 кГц. На этих частотах крутизна фронта импульса тока резко ухудшается. На рис. 4 показаны изменения формы импульсов напряжения, тока и генерации для разных частот следования.

Поведение выходной мощности и КПД лазера при изменении мощности накачки изучалось при постоянном давлении буферного газа неона 20 торр на частоте 17,5 кГц, температура стенки ГРТ поддерживалась на одном уровне.

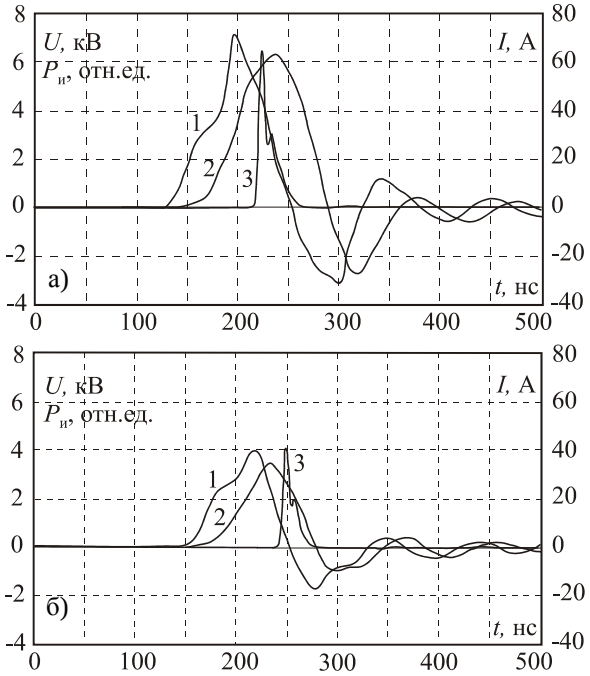


Рис. 4. Импульсы напряжения (1), тока (2) и генерации (3) на частотах следования 15 кГц (а) и 30 кГц (б). В случае (а) рабочая емкость составляла 680 пФ, в случае (б) 340 пФ

Как следует из зависимостей, представленных на рис. 5, лазер такого типа работает с хорошим для ГРТ такого объема КПД (0,3–0,4%) при невысоких вкладываемых мощностях (~300 Вт). При накачке свыше 500 Вт мощность генерации входит в насыщение (1,5–1,6 Вт), а КПД падает до ~0,2%. Ранее нами в работе для CuBr-лазера с ГРТ диаметром 16 мм и длиной 360 мм при вкладываемой мощности 800 Вт была получена мощность излучения 0,5 Вт [5]. Используя добавку водорода, которая способна в два и более раз повысить мощность генерации CuBr-лазеров, удалось получить среднюю мощность генерации 2,5 Вт. В ходе настоящей работы активная добавка не вводилась и, тем не менее, в некоторых случаях мощность генерации достигала 2,5 Вт. Сравнивая CuBr-лазер с внутренним реактором бромида меди и гибридный лазер примерно такого же активного объема (диаметр 1,3 см, длина 30 см) [6], необходимо отметить, что характеристики CuHyBrID-лазера выше. Однако он является прокачным, и в его рабочей зоне изначально присутствует водород.

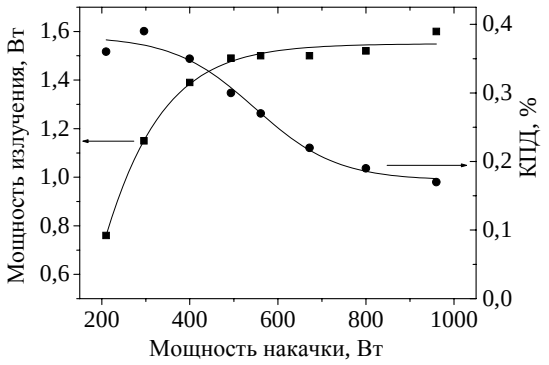


Рис. 5. Зависимости средней мощности генерации и КПД от мощности накачки

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/1425.

Авторы выражают благодарность В.Б. Суханову за помощь в проведении экспериментов и обсуждение полученных результатов.

Список литературы

1. Jones D.R., Maitland A., Little C.E. A high-efficiency 200 W average power copper HyBrID laser // IEEE J. Quantum Electron. – 1994. – V. 30. – № 10. – P. 2385–2390.
2. Le Guyadec E., Coutance P., Bertrand G., Peltier C. A 280-W average power Cu-Ne-HBr laser amplifier // IEEE J. Quantum Electron. – 1999. –V. 35. – № 11. – P. 1616–1622.
3. Пат. 2295811 РФ. МПК[8] H01S 3/22. Способ поддержания и регулирования концентрации галогеноводорода в газоразрядной трубке лазера и газоразрядная трубка лазера на парах галогенидов металлов / Андриенко О.С., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Шестаков Д.Ю., Шиянов Д.В. Заявлено 09.11.2004; Опубл. 20.03.2007, Бюл. № 8. – 6 с.: ил.
4. Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Федоров В.Ф. Лазер на парах бромида меди с высокой частотой следования импульсов // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – № 8. – С. 680–682.
5. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Андриенко О.С. Экспериментальное исследование влияния добавок HBr на генерационные характеристики CuBr-лазера // Квантовая электроника. – 2004. – Т. 34. – № 7. – С. 625–629.
6. Livingstone E.S., Jones D.R., Maitland A., Little C.E. Characteristics of copper bromide laser with flowing Ne-HBr buffer gas // Optical and Quantum Electron. – 1992. – V. 24. – P. 73–82.

ВИХРЕТОКОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Гудков С.А.

Научный руководитель: Кудрявцев И.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: tui2@yandex.ru

В настоящее время мониторинг параметров рабочих жидкостей разнообразных гидравлических систем и технологического оборудования является актуальной проблемой обеспечения надежности оборудования в условиях растущих требований к функциональным характеристикам. При эксплуатации жидкостных систем авиационной и космической техники проблема надежности является одной из определяющих, так как отказ может иметь катастрофические последствия.

С точки зрения влияния на работоспособность гидроагрегатов наиболее важным параметром рабочей жидкости гидросистемы является уровень загрязнения. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, повышенная загрязненность рабочих жидкостей является в 70–90 % случаев причиной отказов гидросистем, в 50% случаев – отказов газотурбинных двигателей. Кроме того, загрязненность жидкости приводит к снижению долговечности агрегатов в 1,5 – 3 и более раз [1–3].

Другим аспектом, обуславливающим практическую ценность мониторинга параметров жидкостных систем, является возможность диагностики состояния агрегатов жидкостных систем по параметрам дисперсной фазы. Известно [1, 2], что основной причиной появления в рабочей жидкости частиц загрязнения является процесс изнашивания пар трения в трибомеханических узлах гидроагрегатов. Контролируя динамику изменения интенсивности генерирования частиц износа и значение зазора в узле трения системы, можно с достаточно высокой степенью достоверности определить техническое состояние узла трения и остаточный ресурс гидроагрегата.

Вихретоковый метод (ВТМ) контроля чистоты жидкостей является одним из перспективных, т. к. позволяет осуществлять многопараметрический контроль и определять материал частицы (ферромагнитный или неферромагнитный) [4,5]. Фактически это позволяет различать в рабочей жидкости частицы износа узлов агрегатов, изготовленных из стали и ее сплавов, и частицы цветных металлов и их сплавов.

Анализ конструкций вихретоковых преобразователей (ВТП) показал, что для решения задачи контроля параметров дисперсных сред наиболее целесообразно применение ВТП проходного типа.

В ОНИЛ-16 СГАУ разработан вихретоковый анализатор гранулометрического состава металлических частиц загрязнений жидкости АЗЖ-908. В нем используется параметрический ВТП проходного типа. Анализируемая жидкость прокачивается через измерительный канал (диэлектрическую трубку), на внешней поверхности которого намотана катушка индуктивности, возбуждаемая высокочастотным напряжением. В зоне нахождения катушки индуктивности возбуждается первичное электромагнитное поле, которое, взаимодействуя с металлическими частицами (примесями), приводит к появлению вторичного электромагнитного поля, измененного по амплитуде и фазе по отношению к первичному высокочастотному электромагнитному полю. Наведенная на этой же катушке ЭДС от вторичного электромагнитного поля сложным образом зависит от геометрических и электрических параметров вихретокового преобразователя и контролируемой металлической частицы.

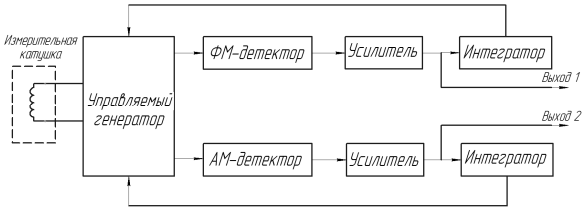


Рис. 1. Структурная схема датчика

На рис. 1 приведена структурная схема датчика прибора АЗЖ-908, содержащая два канала. Первый канал (выход 1) позволяет выделять изменения фазы информационного сигнала, второй канал (выход 2) позволяет выделять изменения амплитуды информационного сигнала.

Чувствительность ВТП, определяемая как минимальный размер (диаметр) частицы загрязнения при заданном соотношении сигнал/шум, в основном, определяется отношением радиуса частицы (r_1) к радиусу обмотки ($R_к$) катушки индуктивности ВТП. Предельная чувствительность (отношение сигнал/шум равно единице) ВТП, с учетом внешних помеховых факторов и собственных шумов, ограничивается значением порядка $0{,}04R_к$.

Для обобщения результатов исследований ВТП вводятся следующие параметры:

$$\beta = R_к\sqrt{\omega\mu_0\sigma};\ \chi = \frac{r_1}{R_к};\ \alpha = \frac{Z_0}{R_к},; \qquad (1)$$

где Z_0 – расстояние между центром массы частицы и продольной осью ВТП.

На рис. 2 приведен годограф полного вносимого комплексного сопротивления от изменения обобщенных параметров (1) [2].

Для немагнитных частиц ($\mu = 1$) с уменьшением расстояния между частицей и ВТП ($\alpha \to 0$) величина вносимого сопротивления растет. Уменьшение параметра χ (размера частиц) приводит к уменьшению модуля вносимого сопротивления $\left|Z^*_{вн}\right|$ и незначительному изменению фазы φ. При $\beta > 15$ изменение размера частиц вызывает только изменение модуля вносимого сопротивления.

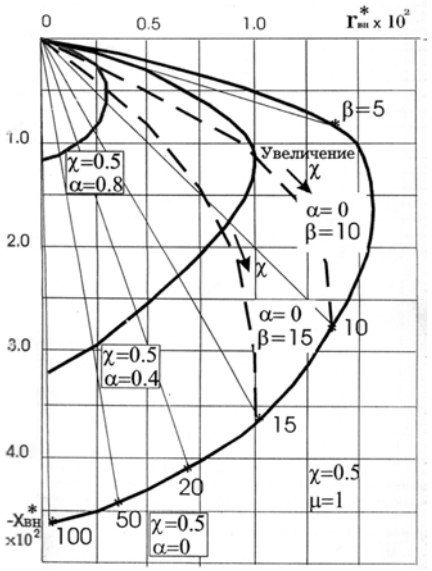


Рис. 2. Годограф вносимого сопротивления для немагнитных частиц

На рис. 3 представлен годограф для магнитных частиц [2].

С ростом μ вносимое активное сопротивление $r^*_{вн}$ растет, достигает максимума и затем уменьшается. Вносимое индуктивное сопротивление $x^*_{вн}$ с увеличением μ сначала уменьшается по модулю до нуля, а затем, изменив знак на положительный, возрастает.

Фаза φ не зависит от α, т.е. положения частицы на оси ВТП и однозначно определяется только произведением β, χ и μ. Следовательно, измеряя фазу, можно вести идентификацию частиц по размерам и электрофизическим параметрам μ.

Для увеличения чувствительности прибора предложена усовершенствованная конструкция дифференциального ВТП трансформаторного типа, что позволяет отстроиться от влияния внешних электромагнитных полей, а также значительно снизить зависимость выходного сигнала преобразователя от температуры.

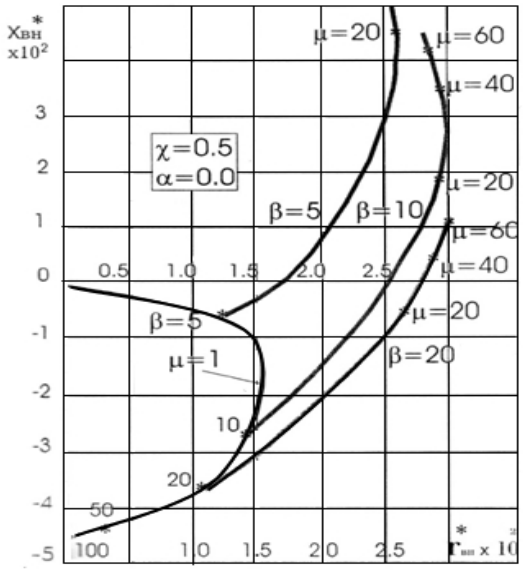


Рис. 3. Годограф вносимого сопротивления для ферромагнитных частиц

Также в схему введен генератор с прямым цифровым синтезом частоты, что в совокупности с цифровой обработкой сигнала с датчика улучшает метрологические характеристики прибора.

Список литературы

1. Fitch, E. C. Fluid contamination control / E.C. Fitch // Technology transfer Series №4, Oklahome, FFS, INC. 1988.
2. Логвинов, Л.М. Анализ и синтез преобразователей концентрации дисперсной фазы для систем управления и контроля технического состояния изделий авиационной техники: Дис. на соиск. учен. степени доктора техн. наук: 05.13.05. – Самара, 1995.
3. Логвинов, Л. М. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа / Л.М. Логвинов, И.А. Кудрявцев, Е.И. Поминов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 3. – С. 8–13.
4. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.А. Ковалев, В.Н. Филинов и др. – М.: Машиностроение, 2005.– 656 с.
5. Дорофеев, А.Л. Электромагнитная дефектоскопия / А.Л. Дорофеев, Ю.Г. Казаманов. – М.: Машиностроение, 1980.– 232 с.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ЧЕЛОВЕКА

Гюнтер С.В., Вотяков В.Ф., Дамбаев Г.Ц.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Guntersv@inbox.ru

В природе существует множество невидимых глазом излучений, наше зрение, хотя и является довольно тонким, но оно не способно воспринимать лучи менее 400 нм и более 750 нм. Весь же спектр электромагнитных колебаний является довольно широким – от низкочастотных радиоволн до сверхкоротких рентгеновских и гамма-излучений. Многие из них широко используются в технике, медицине и повседневной жизни – радиоволны, рентгеновские лучи, ультразвуковые, радиоактивные излучения.

Спектр электромагнитного воздействия включает и длины волн оптического диапазона. В зависимости от частоты и энергии фотона существенно меняются свойства и характер взаимодействия электромагнитных волн с биологическими объектами. Любой из диапазонов электромагнитного спектра играет свою определённую роль в живой природе и принимает индивидуальное участие в процессах жизнедеятельности организма и, в частности биологической ткани.

Организм человека осуществляет свою деятельность в поле электромагнитных волн путем ряда сложных процессов и механизмов и, в том числе, с использованием внутриклеточной и внеклеточной электромагнитной информации и соответствующей биоэлектрической регуляции. Электромагнитная среда обитания фактически может быть рассмотрена как источник воздействия в отношении жизнедеятельности человека и биосистемы. В этой связи возникает проблема биоэлектромагнитной совместимости как весьма сложной системы взаимодействия живой природы и технических средств, источников электромагнитного излучения. В этой ситуации живой организм вынужден постоянно искать защиту от быстро меняющейся обстановки, используя свои внутренние возможности [1, 2].

При взаимодействии ЭМ излучений с биологическими объектами лишь часть энергии поглощается. Это взаимодействие носит биофизический характер, т.е. происходит процесс поглощения и непосредственного распределения поглощенной энергии на уровне биотканей всего организма. В этом случае можно использовать следующую аксиому: та часть энергии излучения может вызвать изменения в веществе, которая поглощается этим веществом; отраженная или проходящая энергия практически не оказывает действия.

Электромагнитные свойства тканей определяются процессами прохождения энергии через слои вещества, отраженной на границах их раздела, и поглощения внутри тканей. Диэлектрические свойства биологических тканей зависят от их химического состава, частоты колебаний, происходящих внутри биологического объекта. ЭМ излучение не обладает ионизирующей способностью и воздействует на уже имеющиеся свободные заряды и диполи.

При изменении длины волны ЭМ излучения можно специфически вызывать модуляцию иммунной или гормональной систем, избирательно запускать те или иные фотобиологические процессы, начинающиеся с поглощения кванта света молекулой, и заканчивающейся физиологической реакцией (позитивной или негативной) на уровне организма.

Энергия ЭМ поля и излучения при взаимодействии с тканями организма превращается в другие виды энергии (химическую, тепловую и др.), что служит звеном физико-химических и биологических реакций, формирующих конечный терапевтический эффект. При этом каждый из типов ЭМ полей и излучений вызывает, присущие ему, фотобиологические процессы, которые определяют специфичность их лечебных эффектов [3].

Световое излучение в диапазоне от ультрафиолета (УФ) до ближнего инфракрасного (ИК) спектр, по сравнению с коротковолновым рентгеновским или электромагнитным излучением радиодиапазона, обладает специфичностью и большой нелинейностью по отношению к биологическим системам (рис. 2).

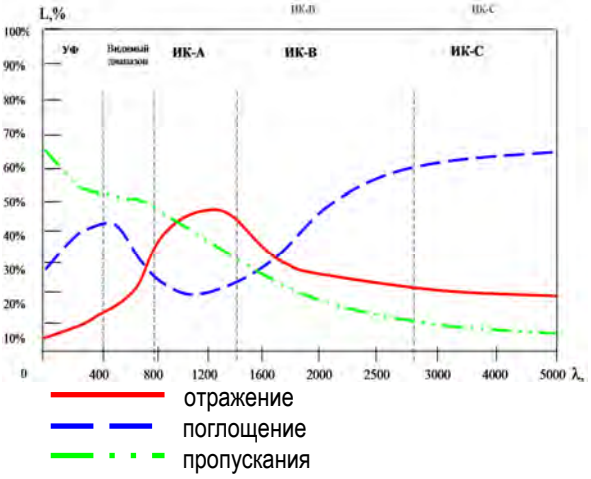


Рис. 1. Особенность воздействия ЭМ излучения на биологические ткани в диапазоне от 200 до 5000 нм

Воздействие ИК излучения на биологический материал или реакция живой ткани на это излуче-

ние обусловлено взаимодействием фотонов и молекул ткани. Выделяющаяся тепловая энергия ускоряет тканевой обмен веществ, происходит изменение процессов метаболизма. При тепловом воздействии инфракрасного излучения возникает положительное влияние на выработку макрофагоцитов и процесс фагоцитоза, усиливает иммунитет на клеточном и жидкостном уровне. Кроме того, происходит стимуляция синтеза аминокислот, активных клеток, ускоряется производство питательных веществ и ферментов. [4].

Под воздействием УФ излучения образуются гистамин и подобные ему вещества, которые активизируют деятельность эндокринной системы. В результате облучения микроорганизмы погибают (микробиологически), так как они теряют способность воспроизводства. УФ излучение в диапазоне длин волн около 260 нм хорошо проникает сквозь воду и стенку клетки переносимого водой микроорганизма и поглощается ДНК микроорганизмов, вызывая нарушение её структуры. В результате прекращается процесс их воспроизводства. Тем самым при воздействии УФ облучения происходит снижение роста клеток [5].

Излучение малой интенсивности не запускает адаптационные механизмы биосистемы, т.е. не затрагивает его гемоостаз. При увеличении интенсивности светового потока общие адаптационные и регуляционные механизмы живого объекта не справляются с полным восстановлением системы, происходят необратимые процессы, имеющие свойство нарастать и вести за собой разрушения в системе. Взаимодействие света с молекулами тканей возбуждает их и переводит в основное состояние. При этом выделяется тепло, и увеличивается температура, и, как следствие разрыва водородных связей, нарушается функционирование биомолекул и жизненных функций тканей.

Однако следует заметить, что реакция различных клеток тканей на ЭМ воздействия является индивидуальным и зависит от личных факторов.

На рис. 2 представлены зависимости влияния излучения на клетки злокачественной опухоли (карциномы Эрлиха).

Полученные зависимости отражают особенности воздействия того или иного типа излучения в области спектра (от УФ до ИК ближнего диапазона).

При воздействии излучением малой интенсивности на клетки со злокачественными новообразованиями наблюдается следующая картина:

• ИК-излучение росту клеточных культур практически на 15%;

• УФ излучение, как и предполагалось, предотвращает рост численности клеток более, чем на 30%;

• видимый спектр излучения (в пределе от красного до синего), логично склоняется к линейной зависимости воздействия на клетки, при красном спектре происходит плавное увеличение роста клеток, соответственно при воздействии фиолетового спектра, уменьшение.

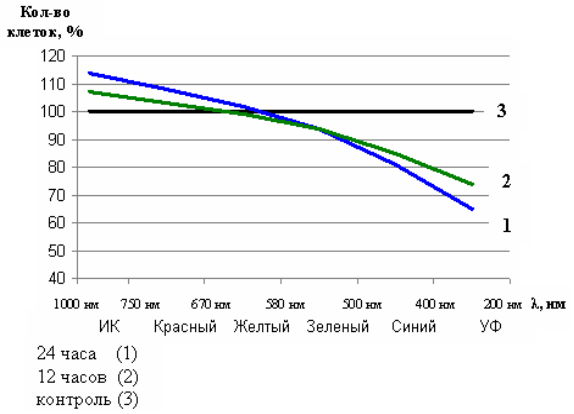


Рис. 2 Реакция воздействия типа излучения на клетки со злокачественной опухолью (карциномы Эрлиха)

Исходя, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы: организм человека, являясь источником и «сенсором» спектра электромагнитных излучений. В свою очередь сам, как открытая термодинамическая система, воспринимает энергию электромагнитного излучения, реагируя на клеточном уровне. Степень воздействия излучения на биосистему человека, прежде всего

Степень воздействия излучения на биосистему человека, прежде всего, связаны с длиной волны, длительностью облучения и плотностью энергии.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке инкубаторов-носителей клеточных культур, оснащённых генератором электромагнитного излучения с задаваемыми характеристиками излучения.

Список литературы

1. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика, Т. 1. – М., 2007. – С. 559.
2. Антонов В.Ф., Черныш А.М, Пасечник В.И. Биофизика. – М.: Физика, 2000. – 154 с.
3. Кузнецов А.В., Чернов С.В. Воздействие электромагнитных полей на биологические тела // Медицинская техника – 2003. – №2. – С. 72–75
4. Вайль Н.С. Инфракрасные лучи в клинической диагностике и медико-биологических исследованиях. – М.: Медицина, 1996. – 278 с.
5. Мейер А, Зейтц Э. Ультрафиолетовое излучение: пер. с нем. – М.: Науч. лит-ра, 1952. – 574 с.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Дао Суан Тхао

Научный руководитель: Булгаков В.Ф

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: billdt.th@gmail.com

Основными мешающими факторами, влияющими на точность контроля ЛБТ, являются зазор h между вихретоковым преобразователем (ВТП) и поверхностью контролируемой трубы. На трубных базах ЛБТ перемещаются по рольгангу с одновременным вращением. Контроль дефектов накладных ВТП осуществляется по спирали. У дюралевых ЛБТ на концах расположены стальные замковые части, диаметр которых больше на 25 мм диаметра основной части трубы, поэтому трубы движутся по рольгангу с вибрацией. Зазор h, кроме вибрации, зависит от скорости перемещения и кривизны труб и может достигать 10 мм. Объектом контроля является легкосплавная бурильная труба (ЛБТ) с дефектами, размеры которых: глубина 3 мм, ширина 0,5 мм. Направления дефектов продольны оси трубы.

На рис. 1 изображен комбинированный накладной ВТП, для обнаружения трещин, расположенных на поверхности ЛБТ, который состоит из компенсирующей обмотки ОК, обмотки возбуждения ОВ и измерительных обмоток ОИ1, ОИ2, ОИ3. При выявлении трещин основным мешающим фактором является зазор h между поверхностью контролируемой трубы и преобразователем. Кроме того, существенное влияние оказывают перекосы оси ВТП и горизонтальные смещения Нх. Для определения отношения сигнал/шум необходимо провести экспериментальные исследования: сдвиг преобразователя по горизонтали (Нх) над годным участком контролируемой трубы при разных зазорах (h=0–6 мм) и сканирование преобразователя по поверхности трубы над дефектом при разных зазорах.

Существуют два метода для получения опорного напряжения, сформированных с резистора и с вносимого напряжения. Из результата эксперимента получаем, что метод опорного напряжения, сформированный с резистора, имеет отношение сигнал/шум меньше 2. Таким образом, переходим к другому, более сложному варианту – опорному напряжению, сформированному из вносимого напряжения.

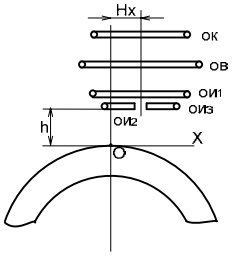


Рис. 1. Сдвиг преобразователя по горизонтали над годным участком контролируемой трубы

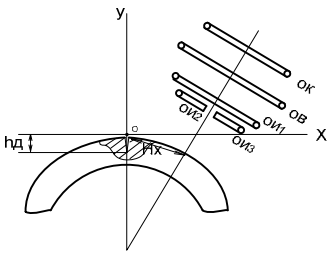


Рис. 2 Сканирование преобразователем по поверхности трубы над дефектом (глубина дефекта Нд)

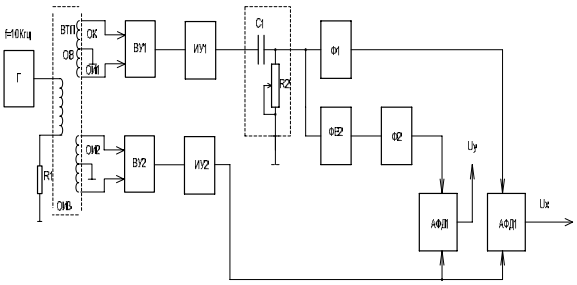


Рис. 3. Структурная схема дефектоскопа – опорное напряжение, сформированное с вносимого напряжения: Г – генератор с частотой 10 КГц; ОВ – обмотка возбуждения; ОК – компенсирующая обмотка; ОИ – измерительная обмотка; ВУ – вычитающее устройство; ИУ – избирательный усилитель; ФВ – фазовращатель; ф – формирователь; АФД – схема амплитудно-фазового детектора

Из результатов эксперимента построим график (рис. 4) зависимости выходного напряжения Uy от смещения Нх для разных зазоров h (от 0 до 6 мм):

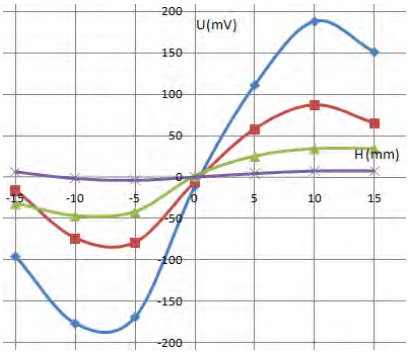


Рис. 4 График зависимости выходного напряжения от смещения для разных зазоров

Из результатов эксперимента построим график (рис. 5) зависимости выходного напряжения Uy –сканирование преобразователя по поверхности трубы над дефектом для разных зазоров h (от 0 до 6 мм):

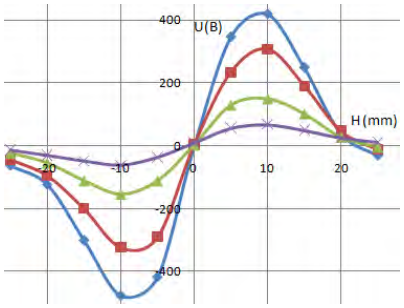


Рис. 5 Графика зависимости выходного напряжения Uy –сканирование преобразователя по поверхности трубы над дефектом для разных зазоров

В результате эксперимента получаем все отношения сигнал/шум больше 2. Для контроля ЛБТ, не только контролировать дефекты и еще можно определить толщину стенки. По результатам экспериментов получаем схему установки контроля ЛБТ. Установка контроля ЛБТ состоит из двухчастотного генератора, комбинированного ВТП, каналов дефектоскопии и толщинометрии, микроконтроллера и цифровой индикации.

Прибор состоит из каналов низкой и высокой частоты. Канал низкой частоты содержит вычитающее устройство ВУ1, блок усилителей низкой частоты БУНЧ и многоканальный блок обработки сигналов БОСНЧ, измеряющий разность фаз входного напряжения относительно Uоп НЧ. Канал формирует сигнал пропорционально толщине стенки контролируемых труб. Канал дефектоскопии содержит вычитающее устройство ВУ2, избирательный усилитель ИУ2, схему амплитудно-фазовой обработки сигнала САФОС, формирователь опорного напряжения, подключенный к каналу высокой частоты.

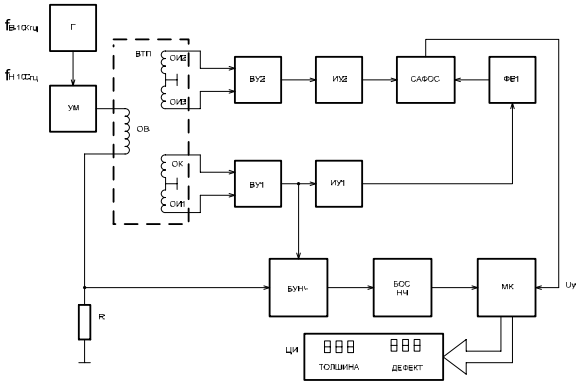


Рис. 6. Структурная схема установки контроля ЛБТ: Г – генератор; УМ – усилитель мощности; ОВ – обмотка возбуждения; ОК – компенсационная обмотка; ОИ – измерительная обмотка; ИУ – избирательный усилитель; ВУ – вычитающее устройство; ФВ – фазовращатель; БУНЧ – блок усилителя низкой частоты; БОСНЧ – блок обработки сигналов низкой частоты; МК – микроконтроллер; САФОС– схема амплитудно-фазовой обработки сигнала; ЦИ – цифровой индикатор

Список литературы

1. Руководящий нормативный документ. – Львов, 1990. – С. 19.
2. К.В. Иогансен, Спутник Буровика. – М.: Недра, 1990.
3. В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев, Неразрушающий контроль и диагностика: справочник.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭХО-ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ НА ВЫХОДЕ КОМПАРАТОРА

Дичев Н.В.

Научный руководитель: Солдатов А.И

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:werdan@sibmail.com

Работа устройств акустического измерения дальности основывается на явлении распространения звуковых волн в воздушной среде и отражения их в процессе распространения от других сред (контролируемых тел).

Информация о расстоянии до контролируемого тела, точнее некоторой отражающей зоны, принадлежащей поверхности контролируемого тела, определяется временным запаздыванием принимаемого сигнала относительно излучаемого. Звуковые волны распространяются в воздушной среде с определенной скоростью, поэтому по задержке прихода отраженного сигнала можно с достаточной степенью точности судить, на каком расстоянии находится тот предмет, который отразил звук.

Существующие на сегодняшний день акустические измерительные приборы имеют весьма большую погрешность измерений. Величина этой погрешности зависит от параметров используемых датчиков, условий в которых проводится измерение, свойств окружающей среды. Однако следует отметить, что в настоящее время все акустические измерительные приборы работают по однокомпараторной схеме измерения, где дальность до объекта определяется по времени срабатывания порогового устройства (tпор, рис. 1). Такой метод заведомо имеет большую погрешность измерений, связанную с невозможностью измерения времени Δt (время от начала эхо-импульса до времени срабатывания порогового устройства), из-за того, что уровень срабатывания порогового устройства устанавливается на величине большей величины помех, которые всегда присутствуют. Но очевидно, что отраженный эхо-сигнал берет начало от нулевого значения амплитуды. Величиной этой погрешности является Δt на рис1. Для того что бы ликвидировать эту составляющую погрешности был разработан следующий метод. Использование этого метода позволит повысить точность акустических измерений в дальнометрии, в измерении глубин скважин, измерении уровня, что является на сегодняшний день весьма актуальной и важной задачей.

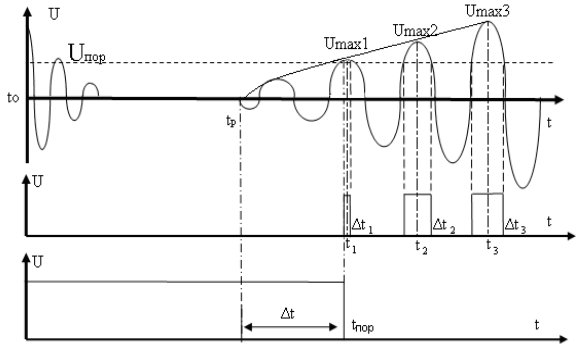


Рис. 1 Диаграмма начала эхо-сигнала (а) и зависимость длительности импульсов на выходе компаратора от амплитуды эхо-сигнала (б)

Суть метода заключается в построении огибающей пришедшего эхо-импульса, путем использования длительностей сигналов на выходе компаратора. Таким образом, как показано на рис. 1, точка пересечения огибающей с нулем даст нам действительное время начала эхо-импульса.

Из рис. 1 видно, что информация о наклоне огибающей импульсного сигнала содержится в длительностях серии прямоугольных импульсов, сформированных на выходе компаратора.

Для ее построения нам необходимо получить амплитуды сигналов, используя длительности импульсов на выходе компаратора.

Выразим амплитуду полусинусоиды на входе компаратора через длительность импульса на выходе компаратора:

$$U_{\max} = \frac{U_{пор}}{\sin\frac{\Delta\varphi}{2}},$$

где $\Delta\varphi$ определяется из выражения:

$$\Delta\varphi = \pi \cdot (1 - \frac{\Delta t}{T})$$

Очевидно, что при этом:

$$U_{\max i} = \frac{U_{пор}}{\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta t_i}{T})},$$

где Δt_i – длительность импульса на выходе компаратора, T – период несущей частоты, $U_{\max i}$ – амплитуда полусинусоиды в i периоде импульсного сигнала.

Для получения аппроксимирующего выражения огибающей импульсного сигнала необходимо минимум 3 точки.

$$U_{\max 1} = \frac{U_{пор}}{\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta t_1}{T})}; U_{\max 2} = \frac{U_{пор}}{\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta t_2}{T})};$$

$$U_{\max 3} = \frac{U_{пор}}{\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta t_3}{T})}.$$

Поскольку полученные 3 точки должны лежать на огибающей импульсного сигнала, получаем систему трех квадратных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} U_{\max 1} = a_1 \cdot t_1^{\,2} + b_1 \cdot t_1 + c_1 \\ U_{\max 2} = a_1 \cdot t_2^{\,2} + b_1 \cdot t_2 + c_1 \\ U_{\max 3} = a_1 \cdot t_3^{\,2} + b_1 \cdot t_3 + c_1 \end{cases},$$

где t_1, t_2, t_3– ординаты экстремумов полусинусоид, имеющие размерность времени.

Для решения этой системы уравнений находим коэффициенты a_1, b_1 и c_1 и подставляем их в уравнение огибающей:

$$U = a_1 \cdot t_0^{\,2} + b_1 \cdot t_0 + c,$$

Приравняв $U = 0$, получим квадратное уравнение, корнями которого является временная координата пересечения огибающей импульсного сигнала с нулевой линией.

$$t_0 = \frac{b_1 \pm \sqrt{b_1^{\,2} - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1}.$$

На рис. 2 приведена структурная схема блока обработки эхо-импульса, использованная нами в процессе проведения экспериментов.



Рис. 2. Структурная схема блока обработки эхо-импульса

Таким образом, используя данный метод, мы провели серию экспериментов. В результате, мы получили значительное повышение точности измерений без внесения кардинальных доработок в существующие измерительные приборы, а только изменив алгоритм обработки принятого сигнала. Целью дальнейших исследований будет расчет погрешностей и проведение сравнительного анализа с другими методами измерений.

Список литературы

1. Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В. Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера / /Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 315 – № 4. – С. 85–89.
2. Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2009. – № 10. – С. 178–184.

МЕТОД ШУМОВ БАРКГАУЗЕНА И ЕГО СВЯЗЬ С ДВУХЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Долгих В.Ю.

Научный руководитель: Винокуров Б.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Miracle777@sibmail.com

В начале прошлого века БАРКГАУЗЕН Генрих Георг, немецкий физик и электротехник, исследуя причины шумов в телефонных сетях, обнаружил явление, увековечив свое имя на долгие годы. Данное явление было названо эффектом Баркгаузена, а шумы – шумами Баркгаузена.

Эффект Баркгаузена – скачкообразное изменение намагниченности ферромагнитных веществ под воздействием медленно изменяющегося внешнего магнитного поля. Причиной эффекта Баркгаузена являются различного рода неоднородности в ферромагнетике (инородные включения, дислокации, остаточные механические напряжения и т. д.), которые препятствуют перестройке магнитной структуры. Когда граница домена, смещаясь при увеличении поля *H*, встречает препятствие (например, включение), она останавливается и остаётся неподвижной при дальнейшем увеличении поля. При некотором значении поля граница преодолевает препятствие и двигается уже без увеличения поля. Из-за подобных задержек кривая намагничивания ферромагнетика имеет ступенчатый характер (рис. 1).

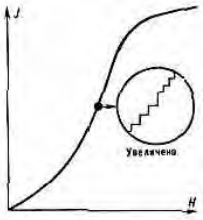


Рис. 1. Кривая намагничивания ферромагнетика

Скачкообразное изменение намагниченности может быть вызвано не только полем, но др. внешними воздействиями (например, плавным изменением упругих напряжений или температуры), при которых происходит изменение доменной структуры образца [1]. Эффект Баркгаузена служит одним из непосредственных доказательств доменной структуры ферромагнетиков. Параметры скачков кривой намагничивания (их число, размер, длительность, спектральный состав) используют как первичный информативный параметр для контроля таких свойств материала, как химсостав, структура, степень пластической деформации. В зависимости от поставленной задачи для контроля используются такие статистические параметры потока скачков Баркгаузена, как распределения по амплитуде, по длительности, по величине магнитного момента и полям старта, по соотношению параметров 180-градусных и 90-градусных скачков, по спектральному распределению плотности магнитных шумов и т. д.

При скачках Баркгаузена в измерительной катушке возникают импульсы ЭДС. Таким образом, перемагничивание образца сопровождается появлением в измерительной обмотке сигнала, имеющего характер случайного процесса. Площадь импульсов ЭДС пропорциональна моменту СБ или объему перемагничивающейся области. Если длительности СБ для данного образца отличаются незначительно, то в первом приближении можно считать амплитуду импульсов ЭДС на выходе измерительной катушки пропорциональной размерам СБ [2].

Структурные изменения, происходящие в сталях при термической обработке, влияют на параметры скачков Баркгаузена, что позволяет использовать метод эффекта Баркгаузена для неразрушающего контроля структурного состояния сталей.

При циклическом перемагничивании ферромагнитного образца, в охватывающей его измерительной катушке будет индуцироваться сигнал, содержащий кроме дискретного спектра – сплошной спектр, который и получил название шумов Баркгаузена. Наличие упругих внутренних напряжений, их значения и характер распределения, оказывающие влияние на то, каким образом домены определяют для себя ось лёгкого намагничивания и как они ориентируются по отношению друг к другу, определяют интенсивность генерируемого шума Баркгаузена, т.е. амплитуда магнитного шума зависит от приложенной нагрузки.

Шумы Баркгаузена используются для контроля механических напряжений, толщины упроченного слоя, выявления шлифовальных прижогов, зон термического влияния и других физико-механических параметров ферромагнитных материалов и изделий при наличии корреляционной связи между шумами Баркгаузена и физико-механическими свойствами, для применения в машиностроительной, авиационной, автомобильной, судостроительной и других отраслях промышленности.

Несмотря на то, что эффект Баркгаузена был открыт в 1919 г., он активно используется в промышленности лишь последние три-четыре десятилетия.

Начиная с середины семидесятых годов, когда эффект Баркгаузена начал интенсивно использоваться в технических приложениях, разработано множество приборов и устройств для измерения и регистрации скачков э.д.с. Баркгаузена, начиная

от простейших приборов, регистрирующих один параметр, до измерительных комплексов, позволяющих осуществлять многопараметровый контроль в таких областях, как дефектоскопия и структуроскопия магнитных изделий.

В это же время стали появляться научные школы, проводиться конференции и научные семинары, в ходе которых происходил обмен результатами исследований и применений эффекта Баркгаузена. К настоящему времени попытки использовать ЭБ сделаны практически во всех областях НК – дефектоскопии, структуроскопии, размерометрии и технической диагностике. Основным преимуществом данного метода по сравнению с традиционными является большое количество независимых параметров, определяющих динамику магнитной структуры, что позволяет проводить многопараметровый мониторинг процессов структурообразования.

В данной работе главным является изучение корреляция эффекта Баркгаузена с двухчастотным методом намагничивания ферромагнитных материалов.

Двухчастотный метод контроля предполагает намагничивание ферромагнитного изделия двумя переменными полями, значительно отличающимися по амплитуде и частоте. Физика процесса двухчастотного перемагничивания состоит в том, что магнитное состояние в общем случае изменяется по несимметричным, незамкнутым частным динамическим циклам, форма которых и расположение в плоскости B-H зависит от частот и амплитуд и их соотношений, а также от соотношения фаз намагничивающих полей [3].

Исследования данного метода показали его высокую чувствительность к изменению структуры и механическим напряжениям, имеющимся не только в поверхностном слое, в который проникает в.ч. поле, но и на всей глубине распространения низкочастотного поля. Как правило, информативным параметром контроля является высокочастотная часть спектра [4].

Метод позволяет контролировать поперечные, локальные, а также глубинные дефекты в ферромагнитных изделиях. О качестве изделия судят по величине высокочастотной э.д.с.

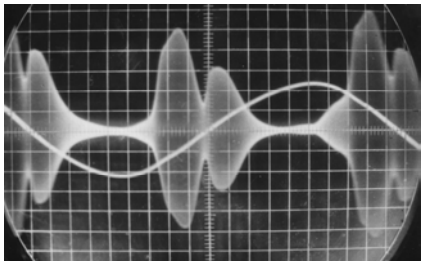


Рис. 2. Сигнал второй гармоники высокочастотного спектра

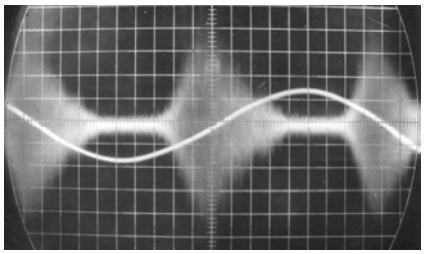


Рис. 3. Шумы Баркгаузена

На рисунках 2 и 3 сплошной линией показаны кривые намагничивающего низкочастотного (50 Гц) тока. Анализируя полученные рисунки, делаем вывод, что они аналогичны по форме [5].

Информативные параметры шумов Баркгаузена хорошо коррелируют с высокочастотным спектром выходного сигнала двухчастотного датчика при исследовании одних и тех же магнитных объектов.

Список литературы

3. Barkhausen H., Zwei mit Hilfe der neuen Verstarker entdeckte Erscheinunften, "Physische Zeitschrift", 1919, Jg. 20, № 17; Бозорт Р. Ферромагнетизм / пер. с англ. – М., 1956. – С. 420.
4. Эффект Баркгаузена в насыщенных водородом аморфных металлических сплавах на основе железа http://isjaee.hydrogen.ru/?pid=305
5. Винокуров Б. Б. Измерение параметров магнитных полей и характеристик ферромагнитных материалов: учебное пособие / Б.Б. Винокуров. – Томск: Изд-во ИПФ ТПУ, 1998. – 123 с.
6. Ширинян О.Г. Магнитный контроль физико-механических свойств ферромагнитных материалов в сложных режимах намагничивания. – Дис. канд. техн. наук. – Томск,1984. – 211 с.
7. Винокуров Б.Б. Разработка и исследование метода дефектоскопии ферромагнитных изделий проходными датчиками с использованием нескольких намагничивающих полей. – Дис. канд. техн. наук. – Томск,1971. – 184 с.

ЛАБОРАТОРИЯ НА ОДНОМ ДИСКЕ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

Донцов А.А., Прокопов Д.А., Петрицкий Р.В.

Научные руководители: Дмитриев С.Ф., к.т.н., доц., Ишков А.В., к.х.н., д.т.н., проф.*

ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет»,
**ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»*
656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61
E-mail: alexdontsov@yandex.ru

Реализуемая нами концепция виртуализированных приборов – программно-аппаратных (ПА) комплексов, используемых для проведения оперативных измерений физических и физико-химических величин в образовании, научных исследованиях и в быту, базируется на максимальной виртуализации функций прибора не связанных с непосредственным получением измерительной информации от контролируемого объекта и среды [1].

Ранее в Алтайском государственном университете и Алтайском государственном аграрном университете был разработан ряд виртуализированных приборов, предназначенных для решения частных задач электромагнитных измерений: измерения предельно-допустимого уровня электромагнитных излучений (по магнитной компоненте ЭМИ), измерения напряженности постоянного и переменного магнитного поля, исследование спектральной характеристики ЭМИ в звуковом диапазоне, измерение электропроводности неферромагнитных материалов, измерение электропроводности полупроводников и пр. [2].

Эти приборы реализуют неразрушающий метод вихревых токов (МВТ) или магнитометрический метод, либо их частные случаи, и построены по общей схеме ПА-комплекса, состоящего из выносного трансформаторного или *L*-датчика, с электрическими параметрами, позволяющими непосредственно подключать его к входу-выходу звуковой карты ЭВМ и специализированного ПО, выполненного в формате самоисполняемого в среде ОС Windows*.exe файла.

Виртуализированные приборы МВТ работают следующим образом: цифровой сигнал от виртуального генератора поступает на ЦАП звуковой карты и преобразуется в аналоговый. Аналоговый сигнал, с выхода усилителя мощности (У) нагружен на генераторную катушку (Г) ВТП. Электромагнитное поле наводит ЭДС в приемной катушке (П) ВТП. ЭДС, усиленная микрофонным усилителем, поступает на вход АЦП звуковой карты. Оцифрованный сигнал поступает далее на блок обработки и управления ПО. Блок обработки и управления фиксирует уровень цифрового сигнала в условных единицах. Этот уровень принимается за уровень нуля и соответствует уровню напряжения на сигнальной катушке без объекта контроля. На индикатор интерфейса выводится ноль, который соответствует нулевому значению измеренного параметра.

В случае взаимодействия ВТП с объектом происходит изменение уровня и характеристик входного сигнала АЦП, как по отношению к нулевому сигналу, так и по отношению к сигналу на выходе ЦАП.

Например, для контроля полупроводниковых материалов, топологии интегральных микросхем и элементной базы РЭА, был разработан виртуализированный прибор ИЭПП-1. ИЭПП-1, который позволяет определять основные физические параметры полупроводниковых материалов, состояние омических и выпрямляющих контактов, качество исполнения планарных структур. Исследование физических характеристик полупроводниковых структур основано на зависимостях напряженности поля вихревых токов от свойств материала, а топологические характеристики планарных структур могут быть определены из функции напряжения измерительной обмотки вихретокового трансформаторного датчика-преобразователя (ВТП) от расстояния до объекта при восстановлении траектории перемещения датчика над его поверхностью.

Также были разработаны ПА-комплексы для измерения уровня напряженности переменного магнитного моля – виртуализированный измеритель переменного магнитного поля со встроенным Фурье-анализатором спектра ИНПМП-5 ФА, измеритель напряженности постоянного магнитного поля ИНПМП-1, измеритель электропроводности неферромагнитных материалов ИЭНМ-20 [3].

Чувствительным элементом во всех приборах является универсальный сверхминиатюрноый ВТП-датчик (СМВТП), конструкция которого приведена ниже.

Датчик выполнен по схеме дифференциального ВТП с тремя катушками, одна из которых является калибровочной, а другие – возбуждающей и измерительной.

Раздельное или совместное использование катушек датчика позволяет использовать его либо как широкополосный *L*-датчик для магнитометрии, либо как самокалибрующийся ВТП в МВТ, а дифференциальное включение катушек датчика и фокусировка возбуждающего поля его сердечником позволяет проводить локальные исследования различных материалов на площади до 500–1 000 нм^2.

Электрические же характеристики датчика позволяют подключать его непосредственной к входу и выходу звуковой карты ЭВМ.

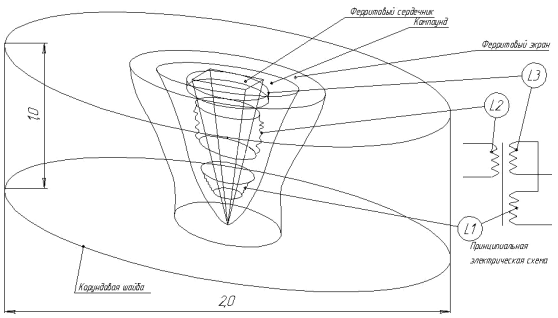


Рис. 1. Конструкция универсального СМВТП

ПО обработки измерительных сигналов в приборах на основе этой конструкции датчика выполнено на языке высокого уровня C++ в инструментальной оболочке Builder C++ v.6.0 и устанавливается на любые типы современных ПК, функционирующих под управлением ОС Windows 95/98/2000/XP.

Для реализации специализированных приложений нами был выбран интерфейс низкого уровня, включающий самый элементарный уровень сервиса, обычно предоставляемого непосредственно драйвером устройства. Низкий уровень позволяет приложениям получить доступ к буферам, содержащим воспроизводимые или записываемые звуковые данные, работать с внутренней структурой файлов, содержащих звуковую информацию, а также использовать другие дополнительные возможности [4].

В отличие от интерфейса MCI, где многие параметры воспроизведения/записи принимаются по умолчанию, интерфейс низкого уровня требует учета всех деталей этого процесса, позволяя получить большую гибкость и возможность работы со звуковыми данными в реальном времени, необходимые для реализации прибора МВТ.

Так как звуковое устройство, используемое нами как высокоскоростное АЦП/ЦАП в составе ПА-комплекса, в Windows может одновременно использоваться не только специализированным приложением, но и любой другой программой или самой ОС, требуется надежный контроль его переменных параметров в процессе работы виртуализированного прибора (любое из приложений, обращающихся к адаптеру через mmsystem.dll, может изменить параметры входного и выходного сигнала, уровень громкости записи/воспроизведения, частоты каналов и пр.).

Микшеры, как вполне самостоятельные блоки звуковых адаптеров и виртуальных синтезаторов, также управляются в MME отдельной подсистемой, но в отличие от дополнительных устройств, в отношении которых из Windows доступно только управление громкостью, микшер позволяет осуществлять приложению коммутацию источников и приемников звука, регулировку уровня, панорамы, тембра и других параметров звука, смешивать несколько источников звука в единый звуковой сигнал, осуществлять контрольное прослушивания и корректировку сигнала, на одной или нескольких линиях.

С использованием описанного выше подхода управления звуковым адаптером, его настройками и связи со стандартными библиотеками ОС Windows, а также оригинальной конструкции СМВТП, нами был разработан универсальный виртуализированный измерительный комплекс для электромагнитных измерений (лаборатория на одном диске «Электромагнитные измерения»).

Комплекс состоит из компьютерной оболочки, с интуитивно-понятным интерфейсом, запускающим различные измерительные, калибровочные, преобразовательные и иные модули программ – отдельных виртуальных приборов, и систему автоматического перенастраивания параметров внешнего ВТП-датчика (рис. 2).



Рис. 2. Различные варианты комплектации лаборатории на одном диске «Электромагнитные измерения»

Использование такого подхода позволило интегрировать в составе одного программно-аппаратного комплекса все разработанные ранее измерительные устройства.

Лаборатория на одном диске «Электромагнитные измерения» может найти широкое применение в научных исследованиях, образовательном процессе вузов и школ, а также в повседневной жизни, так как стоимость всего комплекта не превышает 6 000–8 000 руб., а для превращения пользовательско ПК в измерительный прибор требуется только подключение универсального датчика и запуск программы-оболочки.

Список литературы

1. Ишков А.В., Дмитриев С.Ф. Современная концепция сопряжения измерительных приборов с ЭВМ // Мат. Междунар. научн.-техн. конф. «ИКИ-2007». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 3–6.
2. Дмитриев С.Ф., Панов С.Г., Ишков А.В. // Ползуновский альманах. № 2. 2008. – С. 15–20.
3. Рябинин А.А., Маеренко А.А., Панов С.Г. и др. // Горизонты образования. – Вып. 10. – 2008.
4. Ишков А.В, Дмитриев С.Ф., Новоженов А.В., Лященко Д.Н. Программное обеспечение приборов неразрушающего контроля, реализующих метод вихревых токов. // Труды VII научн.-техн. конф. «Научное программное обеспечение в образовании и научных исследованиях». – СПб.; М.: Изд-во Нестор, 2009. С. 82–89.

ВСТРАИВАЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Езат Х.С.

Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: hawkar@sibmail.com

Введение

Один из эффективных способов защиты металов от воздействия различных эксплутационых нагрузок, в том числе и от износа, является создание на их поверхности оксидых покрытий. Микродуговое оксидирование (МДО) это сравнительно новый вид поверхностной обработки и упрочнения главным образом металических материалов, происходящий от традиционного анодирования и относящийся к электрохимическим процессам. Отличительной особенностью микродугового оксидирования является участие в процессе формирования покрытия поверхностных микроразрядов. К настоящему времени до сих пор неясны механизмы образования покрытий. Остается малоизученным влияние токовых режимов на структуру получаемых покрытий с заданными свойствами [1]. Поэтому вопрос измерения тока и статистическая обработка результатов измерений является актуальной в технологическом процессе микродугового оксидирования.

Целью данной работы является разработка микропроцессорного измерителя тока, который мог быть встроен в технологический источник питания для нанесения керамических покрытий методом микродугового оксидирования в импульсном режиме и имел способность передавать по интерфейсу параметры тока в электролитической ванне для статистической обработки.

Принцип работы

В разработанном измерителе предлагается осуществлять измерение параметров переменного и постоянного тока посредством измерения напряжённости магнитного поля созданного током проводника в полупроводниковом кристалле в соответствии с эффектом Холла.

Когда тонкий полупроводник (рис. 1) располагается под прямым углом к магнитному полю (*B*), и на него подаётся ток (*Id*), на концах полупроводника возникает напряжение (*Vh*). Это напряжение известно как напряжение Холла, в честь американского учёного Эдвина Холла, который первым открыл это явление.

Когда ток возбуждения в устройстве Холла поддерживается постоянным, напряжённость магнитного поля является прямо пропорциональной току в измеряемом проводнике. Таким образом, выходное напряжение соответствует данному току.

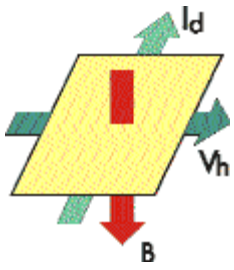


Рис. 1

Такая схема имеет два важных преимущества для измерения параметров тока. Так как напряжение Холла не зависит от изменения направления магнитного поля, а только от значения его напряжения то данное устройство может быть использовано для измерения постоянного тока.

Когда напряжение магнитного поля изменяется вследствие изменения тока в проводнике, реакция на изменение происходит мгновенно. Таким образом, форма электромагнитной волны переменного тока может быть определена и измерена с высокой точностью и небольшим фазовым сдвигом [2].

Структурная схема измерительной системы

Цифровой измеритель тока является модульным прибором, который базируется на микроконтроллере семейства AVR. Структурная схема цифрового измерителя тока для контроля процесса нанесения керамических покрытий методом микродугового оксидирования представлена на рис. 2.

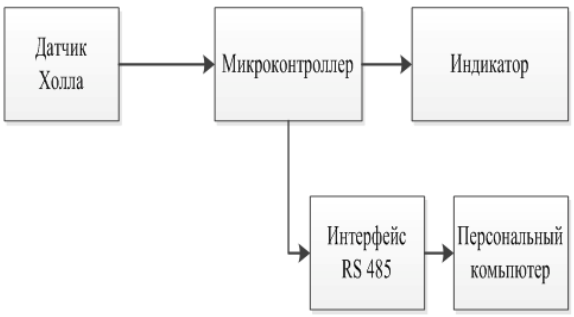


Рис. 2 Структурная схема цифрового измерителя тока

В качестве датчика тока в приборе используется микросхема AD22151, представленная на рис. 3. Она представляет собой сочетание интегрального элемента Холла и высококачественного инструментального усилителя.

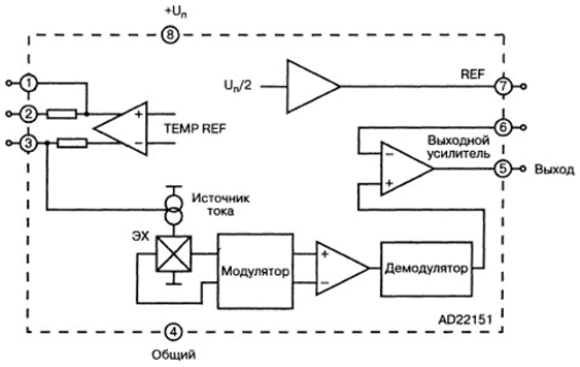


Рис. 3 Упрощенная функциональная схема магниточувствительной схемы AD22151

Для уменьшения влияния нестабильности холловского остаточного напряжения *Uo* предусмотрена модуляция сигнала с датчика Холла с последующей его демодуляцией. Кроме того, микросхема имеет встроенный датчик температуры.

Микросхема отличается высокой магнитной чувствительностью, хорошей линейностью характеристики преобразования и термостабильностью основных параметров в широком диапазоне температур [3].

Сигнал с датчика Холла поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера, выполненного на микросхеме ATmega8.

ATmega8 это 8-битный микроконтроллер, предназначенный для использования во встраиваемых приложениях. Он изготавливается по малопотребляющей КМОП-технологии, которая сочетается с усовершенствованной RISC-архитектурой. Микроконтроллер Atmega8 с помощью своего АЦП измеряет мгновенные значения напряжения, пропорциональные току технологического процесса. Данные значения обрабатываются микроконтроллером и передаются через интерфейс в персональный компьютер.

Калибровка измерителя тока осуществляется с помощью аттестованного калибратора тока. При этом устанавливается зависимость между показаниями прибора и значением тока калибратора. Коэффициент зависимости измеряемого напряжения АЦП микроконтроллера от тока калибратора программируется в памяти программ микроконтроллера.

В качестве интерфейса выбран широко распространенный высокоскоростной и помехоустойчивый промышленный последовательный интерфейс передачи данных RS485.

Сигналы интерфейса RS-485 передаются дифференциальными перепадами напряжения величиной (0,2–8) В, что обеспечивает высокую помехоустойчивость и общую длину линии связи до 1 км (и более с использованием специальных устройств – повторителей). Кроме того, интерфейс RS-485 позволяет создавать сети путем параллельного подключения многих устройств к одной физической линии [4].

Для управления цифровым измерителем тока в графической среде программирования LabVIEW был разработан виртуальный прибор, представленный на рис. 4. Измеритель тока позволяет производить измерение среднеквадратического, амплитудного и среднего значений импульсного тока, а так же масштабировать результаты измерения.

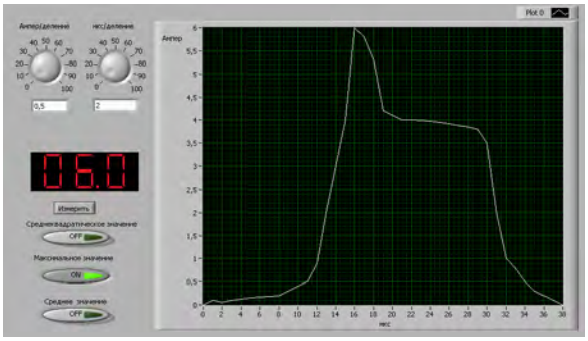


Рис. 4 Виртуальная панель цифрового измерителя тока

Выводы

В данной статье представлена структура встраиваемого измерителя тока на эффекте Холла. Основными достоинствами разработанного устройства являются его модульность, наличие гальванической развязки и интерфейса. Результаты измерение выводятся на компьютер для дальнейшего обработки сигнала.

Список литературы

1. Голенкова, А А. Совершенствование технологии формирования износостойких покрытий на алюминиевых сплавах микродуговым оксидированием: Диссертация 05.02.08 Красноярск, 2006.
2. Современный метод измерения напряжённости электрического или магнитного поля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.diagnost.ru/ChauvinArnoux/Clampsdescription.htm: свободный.
3. Магниточувствительные микросхемы AD22151. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.detect-ufo.narod.ru/pribor/magnitometr/ mchmsad22151.htm: свободный.
4. Интерфейс RS-485, описание. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.contravt.ru/ ?id=1660: свободный.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ ЖГУТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Зеленцова О.А., Смирнов Д.А.

Научный руководитель: Печаткин А.В., к.т.н., и.о. зав. кафедрой

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина,53, г. Рыбинск, тел/факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Современная радиоэлектронная аппаратура, устанавливаемая на борту воздушных летательных и космических аппаратов или использующаяся в составе систем автоматического управления ГТД и бортовыми механизмами, представляет собой сложный комплекс наукоемких изделий, функционирование которых, как правило, невозможно без взаимной связи друг с другом.

Такая связь осуществляется на основе разнообразных жгутовых изделий, имеющих сложную структуру, значительную протяженность и большое количество проводных соединений, в т.ч. выполненных непосредственно на контактах разъемов.

Неисправность (отсутствие предусмотренных соединений, наличие непредусмотренных соединений) или выход за допустимые пределы параметров кабельного изделия (сопротивления проводов, сопротивления изоляции, емкости, индуктивности проводника и т.п.) могут стать причиной неудовлетворительной работы бортового радиотехнического комплекса (БРТК).

В настоящее время контроль целостности кабельного изделия на производстве, в основном, осуществляется вручную, при этом увеличивается трудоемкость выполняемых операций, возрастает время диагностики и повышается вероятность субъективных ошибок оператора.

Нередки случаи возвращения прошедшего контроль кабельного изделия для устранения неисправностей, проявившихся непосредственно при испытании БРТК.

Лишь на некоторых предприятиях применяются дорогостоящие системы контроля зарубежного производства.

Между тем, качественный комплексный контроль жгутового изделия представляет собой трудоемкий процесс.

Так, например, только для тестирования корректности распайки проводов с учетом возможности соединений, выполненных непосредственно на контактах разъемов, и контроля замыкания на корпус разъема, количество измерений без учета операций коммутирования контролируемых соединений составит (1):

$$N = n \times m + \sum_{i=1}^{n}(n - i + 1) + \sum_{j=1}^{m}(m - j + 1), \qquad (1)$$

где N – количество измерений; m – количество контактов входного разъема кабельного изделия; n – количество контактов выходного разъема жгутового изделия (без учета контакта на корпус).

Например, для жгутового изделия, показанного на рис. 1, количество измерений для контроля корректности на наличие предусмотренных соединений и отсутствие непредусмотренных соединений составит:

$$N = 56 + \sum_{i=1}^{8}(9 - i) + \sum_{j=1}^{7}(8 - j) = 120. \qquad (2)$$

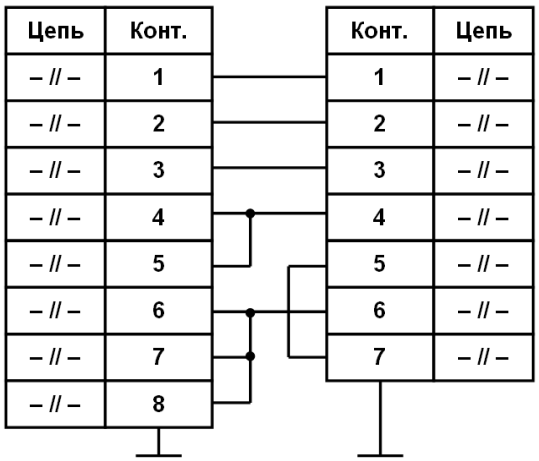


Рис. 1. Пример соединений в жгутовом изделии

С учетом необходимости выполнения операций коммутирования и проведения анализа целостности изоляции каждого проводника общий объем операций (2), выполняемых контролером, может увеличиться до 3 раз и достигнуть значения N = 360. Даже если установить время выполнения элементарной операции контроля и коммутации равным t = 1 секунде, то процесс контроля одного относительно простого жгутового изделия, аналогичного рассмотренному на рис. 1, займет, в среднем, T = 6 минут. В реальном процессе это время будет значительно больше.

Для более сложных жгутов, количество контактов которых достигает значения 64 (63 основных и 1 общий провод, например, корпус разъема), количество однократных измерений основного и переходного сопротивлений и затраченное время без учета операций коммутирования в соответствии с выражением (1) соответственно составят: N = 8001, t > 2 часов.

Динамика изменения трудоемкости контроля жгута отражена на рис. 2.



Рис. 2. Динамика трудоемкости диагностики жгута

В студенческом КБ кафедры РТС РГАТА в рамках совместной работы с ОАО «Ярославский радиозавод» разработан и внедрен базовый вариант устройства контроля проводных соединений (УКПС), представляющего собой специализированное средство измерения и предназначенного для проведения целостного автоматизированного контроля качества жгутовых изделий на основе многократных иземерений, в т.ч. корректности распайки, сопротивления проводников и изоляции между разобщенными цепями.

Вариант практической реализации базового блока автоматизированного измерительного комплекса для контроля проводных соединений с возможностью сетевой или автономной работы показан на рис. 3.



Рис. 3. Базовый вариант реализации внешнего модуля комплекса контроля проводных соединений

Разработанное устройство признанно конкурировать с дорогостоящими зарубежными специализированными приборами, вытеснив их не только по стоимости, но и благодаря расширению функций технологического контроля и сопровождению технологических процессов. Следует отменить, что сопровождение и модернизацию УКПС обеспечивают студенты СКтБ совместно с ведущими специалистами предприятия и контролерами отдела ОТК и цеха, непосредственно занятыми в процессах измерения.

Обобщенная структурная схема системы измерения и контроля параметров жгутов представлена на рис. 4.

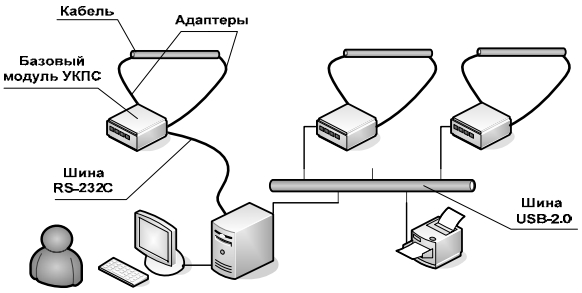


Рис. 4. Структурная схема изделия комплекса контроля проводных соединений

Коммуникационная шина USB-2.0 является адресно-ориентированной, позволяя подключать нескольких потребителей. Этот вариант оправдан в случае, когда один персональный компьютер или рабочая станция обслуживает несколько рабочих мест, например при использовании технологии потоков работ, реализуемой в массовом производстве. При этом один контролер обслуживает несколько УКПС и адаптеров, а программное обеспечение по заранее заложенному алгоритму проводит опрос базовых модулей и, в случае готовности последних, осуществляет автоматизированный контроль и паспортизацию жгутового изделия.

Накопление статистических данных позволяет рассчитать весь ряд обобщенных показателей, получить точное значение сопротивлений с указанием доверительного интервала, собрать необходимую информацию для процессов управления качеством и совершенствования технологических и производственных отношений.

Благодаря формированию целостных баз знаний по жгутовому изделию в реальном масштабе времени можно связать и координировать задействованные структурные подразделения и непосредственных исполнителей.

Программное обеспечение имеет открытую фреймовую структуру, разработанную в среде табличного процессора Excel, представляющего собой ограниченный генератор поддержки решений с широким спектром основных аналитических инструментов, логических, статистических и математических функций и возможностью создания собственных форм и оболочек с активными элементами управления за счет интеграции с платформой структурного программирования VBA.

В настоящее время, благодаря поддержке ОАО «Ярославский радиозавод», проводятся работы по аппаратной и программной модернизации измерительной системы.

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ФИРМЫ NATIONAL INSTRUMENTS

Злыгостева Г.В.

Научный руководитель: Муравьёв С.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zgv@yandex.ru

В последнее время российские инженеры всё чаще для реализации конкретных измерительных задач используют технологии фирмы National Instruments. Аппаратно-программные модули (так называемые «виртуальные приборы») имеют ряд достоинств: большие возможности для решения задач сбора, обработки, анализа измерительной информации, создание интуитивно понятных интерфейсов пользователя, модульность, необязательность специальных знаний языков программирования и т. д.

Особый интерес на этапах разработки и эксплуатации таких модулей представляют вопросы метрологического обеспечения, а именно оценивание неопределенности измерений.

Неопределенность измерений согласно РМГ 29 – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине [1].

Основными документами для оценивания неопределенности являются «Руководство по выражению неопределенности в измерениях» [2] (GUM) и рекомендации [3].

Концепция GUM основывается на использовании закона трансформирования неопределенности. Методы расчетов применимы только к линейным и линеаризованным моделям и в других случаях могут дать неверные оценки. Исключить риск из-за неверного предположения о линейности математической модели либо о законе распределения входных величин позволяет применение численных методов оценивания неопределенности измерений, приведенных в [4].

В данной статье приведён алгоритм оценивания неопределенности измерений (моделирование методом Монте-Карло) и пример его реализации в среде LabVIEW для оценивания неопределенности измерений напряжения, выполненных аппаратно-программным модулем NI PXI-4072 фирмы National Instruments.

Авторы статьи [5] выделяют два этапа оценивания неопределенности измерений.

1) Постановочный. Разработка модели $Y=f(X_1, \ldots X_m)$, согласованной с исходной моделью и приписание функции плотности вероятности (PDF) значениям X_i. Все метрологические решения относительно модели и исходной информации принимаются на данном этапе.

2) Вычислительный. Вывод PDF для значения Y, использование её для получения оценки у этого значения, стандартной неопределенности $U_c(y)$, связанной с у, и интервала охвата для указанного значения.

Вычислительный этап – самостоятельная задача, для решения которой требуются специальные методы. На рис. 1 изображены три группы методов оценивания расширенной неопределенности.

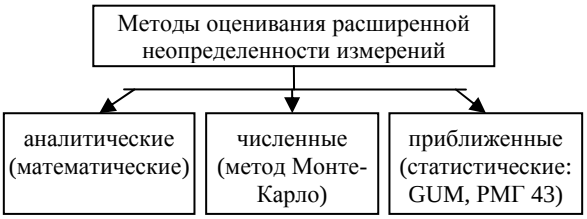


Рис. 1. Методы оценивания неопределенности

Аналитический метод можно применять лишь для простых случаев:

• когда частные случаи практических задач могут быть решены таким образом;

• результат может быть использован как «образцовый», с которым можно сравнить приближенные и численные методы;

• результирующая формула может показать, каким образом $u(y)$ зависит от величин, которые на неё влияют.

Концепция неопределенности GUM может рассматриваться как приближенный аналитический метод, при котором определяются параметры гауссовой PDF (или PDF, относящейся к t-распределению).

Реализация численных методов (трансформирование распределений) обеспечивает аппроксимацию PDF для значения Y. Метод Монте-Карло имеет ряд преимуществ:

• может быть использован при реализации моделей любой сложности (несимметричные распределения составляющих, нелинейные модели с коррелированными входными величинами);

• имеет широкие возможности при объединении составляющих с оцениванием типа B;

• позволяет решить задачу автоматизации оценивания неопределенности.

Для оценивания неопределенности измерений аппаратно-программных модулей фирмы National Instruments лучше всего подходит метод Монте-Карло. Это даёт возможность разработки про-

граммного обеспечения в среде LabVIEW, позволяющего не только получить результат измерений, но и оценить значение расширенной неопределенности измерений, выполненных аппаратно-программным модулем.

Общий алгоритм реализации метода Монте-Карло изображен на рис. 2.

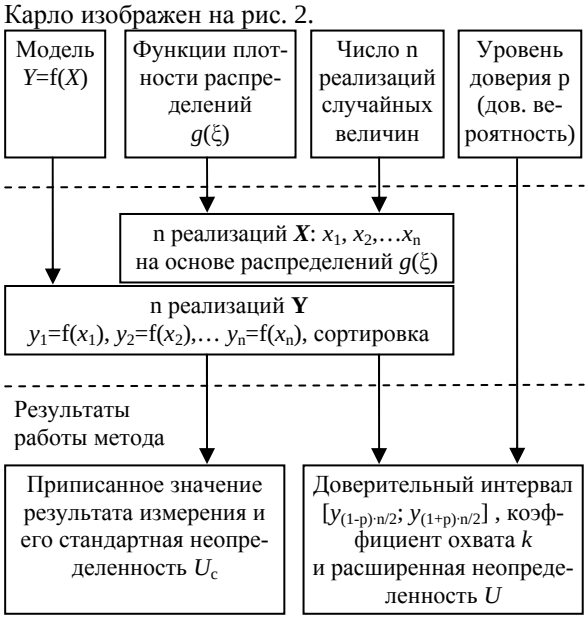


Рис. 2. Численный алгоритм оценивания неопределенности (метод Монте-Карло)

Описание алгоритма [6]:

1) Согласно заданных функций плотности распределения входных величин g(ξ) генерируется n реализаций наборов входных величин. Для этого используются стандартные генераторы псевдослучайных чисел.

2) Используя математическую модель измерений Y=f(X), вычисляется n значений $y_1,\ldots y_n$.

3) Приписанное значение результата измерения – среднее арифметическое набора $y_1,\ldots y_n$; стандартная неопределенность – оценка стандартного отклонения.

4) Отсортировать полученные $y_1,\ldots y_n$ по возрастанию. Доверительный интервал с уровнем доверия p: $[y_{(1-p)\cdot n/2}; y_{(1+p)\cdot n/2}]$; расширенная неопределенность U вычисляется из этого интервала. Например, для p=0,95: $[y_{0,025\cdot n}; y_{0,975\cdot n}]$.

Рассмотрим реализацию алгоритма Монте-Карло в LabVIEW на примере оценивания неопределенности измерений напряжения, выполненных модулем NI PXI-4072 (цифровой мультиметр).

LabVIEW – среда разработки прикладных программ, в которой используется язык графического программирования.

Приведём исходные данные согласно рис. 2 для реализации в LabVIEW подпрограммы оценивания неопределенности измерений (метод Монте-Карло):

1) Модель:

$$Y = X + x_1 + x_2 + x_3 + x_4$$

где X – измеренное модулем NI PXI-4072 значение напряжения, В; x_1, x_2, x_3 и x_4 – входные влияющие величины: x_1 – погрешность модуля NI PXI-5422 (генератор), В; x_2 – погрешность измерения напряжения переменного тока модулем NI PXI-4072, В; x_3 – погрешность квантования измеряемого модулем NI PXI-4072 напряжения ($5\cdot10^{-6}$ В); x_4 – погрешность квантования напряжения модуля NI PXI-5422 ($5\cdot10^{-4}$ В).

Все входные величины, равномерно распределенные, независимы и поэтому корреляция между ними отсутствует.

2) Число реализаций случайных величин n=10^4.

3) Уровень доверия p=0,99 (P=99 %).

Моделирование массивов входных величин и оценивание стандартной и расширенной неопределенности выполнено 30 раз для получения средних оценок. Результаты однократных измерений напряжения модулем NI PXI-4072, оценивания стандартной U_c и расширенной неопределенности U, вычисления коэффициента охвата k представлены на рис. 3.

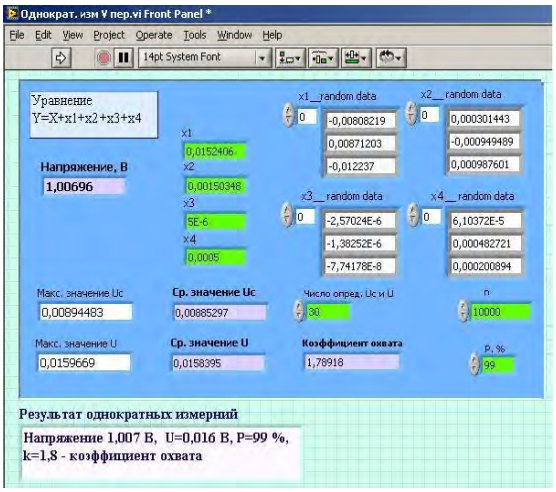


Рис. 3. Передняя панель подпрограммы оценивания неопределенности измерений, реализованной в LabVIEW

Для дальнейшей работы необходимо исследовать зависимость вычислительного времени от сложности модели и числа реализаций случайных величин.

Список литературы

1. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
2. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – 1995.
3. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений»
4. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1: Numerical methods for the propagation of probability distributions. – 2005.
5. М. Кокс, П. Харрис. Основные положения Приложения 1 к Руководству по выражению неопределенности в измерении // Измерительная техника. – 2005. – № 4. – С. 17–24.
6. Новиков В.В. Численные методы в вычислении неопределенности // Системы обработки информации. – 2008. – Вып. 4(71). С. 126–128.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДА СМЕНЫ КАДРОВ ВИДЕКАМЕРЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИИ ОБЪЕКТА, ОСНОВАННОГО НА СТРОБОСКОПИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

Зрюмов Е.А., Зрюмов П.А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: e.zrumov@mail.ru

Создание высокопроизводительных машин с высокими мощностями и нагрузками неизбежно приводит к увеличению интенсивности и расширению спектра вибрационных полей. Этому способствует также широкое использование в промышленности и строительстве высокоэффективных вибрационных и виброударных процессов. Вредная вибрация нарушает планируемые конструктором законы движения машин, механизмов и систем управления, порождает неустойчивость процессов и может вызвать отказы и полную расстройку всей системы. Поэтому разработка бесконтактных методов контроля частоты вибрации промышленных объектов является актуальной задачей [1].

Для исследования влияния периода смены кадров видеокамеры на погрешность контроля частоты вибрации объекта, основанного на стробоскопическом эффекте были проведены следующие эксперименты.

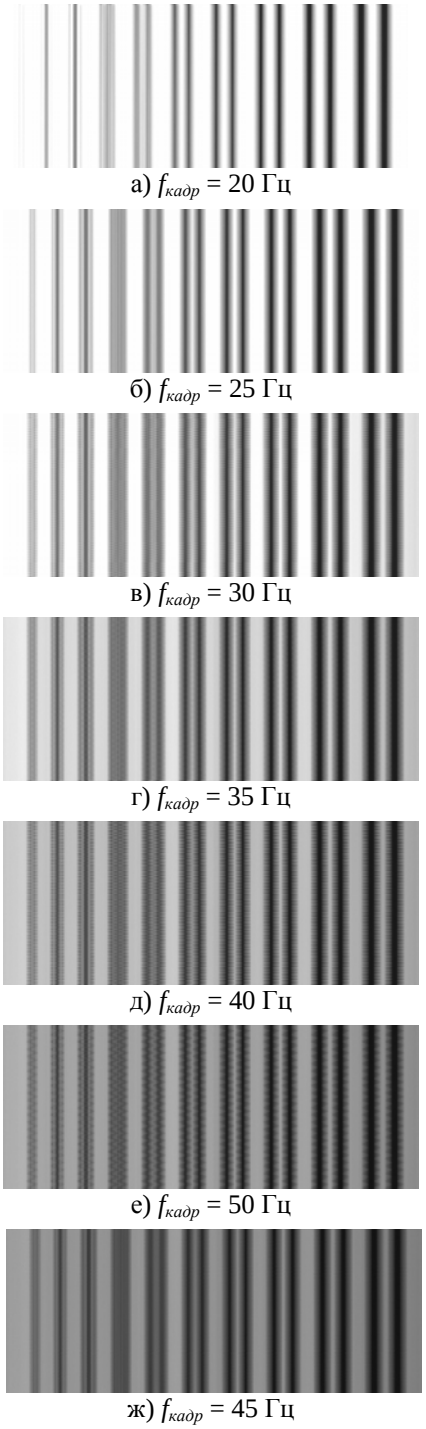
Экспериментальная установка состояла из вибростенда с размещенным на нем тест-объектом, частота и размах вибрации которого задается программно, видеокамеры с изменяемой кадровой частотой в диапазоне от 20 до 2000 Гц, изображение с которой передается на персональный компьютер [2].

Для каждого из полученных графических файлов, соответствующих определенной частоте вибрации объекта, кадровой частоте и времени экспозиции, вычислялся коэффициент D, равный дисперсии яркостей пикселей первой строки и соответствующих пикселей остальных строк:

$$D = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\frac{(L_{ij} - \bar{L}_j)^2}{n \cdot m},$$

где n – количество строк графического файла, m – количество фоточувствительных элементов в строке графического файла, L_{ij} – значение яркости j-го пикселя в i-й строке, L_j – среднее значение яркости j-го пикселя по всем строкам графического файла.

В качестве измерительного критерия при нахождении частоты вибрации объекта, колеблющегося по гармоническому закону, в заданном диапазоне частот принималось минимальное значение коэффициента D сформированного графического файла с изображением тест-объекта, причем при формировании графического файла временя экспозиции и период смены кадров видеокамеры равны [3, 4].



а) $f_{кадр}$ = 20 Гц
б) $f_{кадр}$ = 25 Гц
в) $f_{кадр}$ = 30 Гц
г) $f_{кадр}$ = 35 Гц
д) $f_{кадр}$ = 40 Гц
е) $f_{кадр}$ = 50 Гц
ж) $f_{кадр}$ = 45 Гц

Рис. 1. Влияние периода смены кадров видеокамеры на результаты измерения при частоте вибрации объекта 50 Гц

Для исследования зависимости коэффициента *D* от кадровой частоты видеокамеры частоты при фиксированной частоте вибрации объекта были проведены следующие эксперименты.

На вибростенде была задана частота вибрации объекта 50 Гц. Затем на видеокамере была установлена кадровая частота в диапазоне от 20 Гц до 50 Гц с шагом 5 Гц, при этом время экспозиции было равно периоду смены кадров видеокамеры. На рис. 1 представлены результаты данного эксперимента.

На рис. 2 представлена зависимость изменения коэффициента *D* от кадровой частоты видеокамеры при частоте вибрации объекта 50 Гц. Как видно из рисунка минимальное значение коэффициента *D* соответствует кадровой частоте видеокамеры 50 Гц, равной частоте вибрации объекта. Частота кадровой развертки видеокамеры, кратная частоте вибрации объекта, на выбранном диапазоне также отсутствует. Однако, на представленной зависимости также можно выделить еще один минимум, соответствующий кадровой частоте видеокамеры 25 Гц, которая равна половине частоты вибрации объекта. Причем значения коэффициента *D* при кадровой частоте видеокамеры 25 Гц и 50 Гц близки.

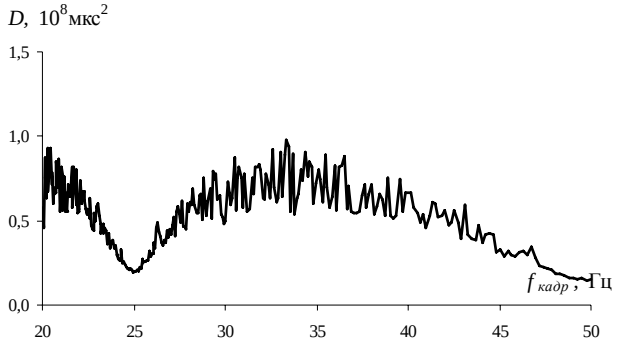


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента D от кадровой частоты видеокамеры при частоте вибрации объекта 50 Гц

Следовательно, для измерения частоты вибрации объекта, колеблющегося по гармоническому закону, необходимо при равенстве времени экспозиции и периода смены кадров определить кадровую частоту видеокамеры, на которой наблюдается стробоскопический эффект, удвоенное значение которой и будет давать частоту вибрации объекта.

На рис. 3 представлена статическая характеристика оптического метода контроля частоты вибрации объекта, основанного на стробоскопическом эффекте. Погрешность измерения частоты вибрации объекта составила ±0,1 Гц или 0,2%.

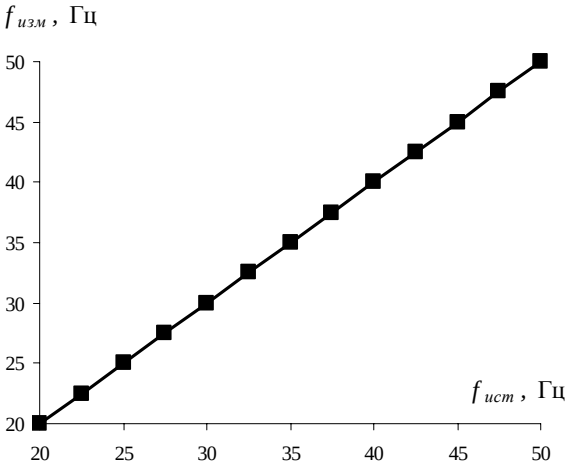


Рис. 3. Статическая характеристика оптического метода контроля частоты вибрации объекта, основанного на стробоскопическом эффекте

Из проведенного исследования можно сделать вывод, что применение в качестве измерительного критерия оптического метода контроля частоты вибрации объекта, основанного на стробоскопическом эффекте, минимального значения коэффициента *D* является оправданным, так погрешность измерения при этом составляет ±0,1 Гц или 0,2%.

Список литературы

1. Иориш Ю.И. Виброметрия. – М.: Машгиз, 1963.
2. Зрюмов Е.А., Зрюмов П.А., Пронин С.П. Оптический метод и средство контроля частоты вибрации объекта, основанные на применении дискретного преобразования Фурье // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во Спутник+, 2009. № 5 (43).
3. Зрюмов Е.А., Пронин С.П. Оптический метод контроля параметров вибрации // Вооружение. Политика. Конверсия. – М.: Изд-во РАРАН, 2009. №4 (88).
4. Зрюмов Е.А., Зрюмов П.А., Юденков А.В., Пронин С.П. Исследование согласования частоты колебания тест-объекта и частоты опроса ПЗС – фотоприемника видеокамеры. // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. №2.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ УГЛЯ

Зыкова О.С.

Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: oszykova@tpu..ru

Введение

На современном этапе развития народного хозяйства большое внимание уделяется проблемам повышения эффективности использования технологического и транспортного оборудования, улучшения качества технологических процессов, повышения достоверности учёта материальных ценностей, и конечно, минимизация вмешательства человека в технологические процессы.

Одной из таких проблем в угольной промышленности является совершенствование углепогрузочных работ на промышленном железнодорожном транспорте. Погрузка угля в железнодорожные вагоны является завершающим звеном в технологической схеме угольного комплекса поверхности шахт, и, очевидно, представляет собой очень важный объект для автоматизации [1].

В целях повышения эффективности погрузочных работ необходимо разработать ряд мероприятий, направленных на улучшение процессов погрузки и учета угля в железнодорожные вагоны. Необходимость внедрения автоматизированной системы определяется тем, что производственная мощность новостроящихся и реконструируемых угольных предприятий достигает нескольких миллионов тонн угля в год, из чего следует, что ежедневный объем отгрузки угля составляет несколько сотен вагонов в сутки [2].

Проблемы при погрузке угля

Принцип работы погрузочного устройства на шахтах и разрезах добычи угля Кемеровской области практически одинаков. Уголь с помощью специальных конвейерных лент поднимают на поверхность и укладывают в накопительный бункер. Далее из этого бункера уголь поступает в погрузочную воронку, из которой он попадает непосредственно в железнодорожные вагоны для транспортировки [3]. Емкость погрузочной воронки в среднем составляет 100 – 120 тонн.

Казалось бы, что в данном процессе нет ничего сложного, но так кажется только на первый взгляд. При более детальном рассмотрении существует ряд проблем.

Во-первых, весь процесс погрузки осуществляется с помощью единственного оператора, который одновременно должен передвигать вагон с помощью лебедки, равномерно нагружать в вагон уголь и не допускать перегрузки вагона. На каждом вагоне написана его вместимость в тоннах и, непосредственно, масса самого вагона. За перегрузку вагона на 1 тонну шахта платит штраф железнодорожному управлению в размере 300 тыс. руб. Кроме этого штраф налагается за неравномерность нагрузки вагона. За счет данных штрафов железнодорожное управление покрывает расходы на амортизацию железнодорожных путей. Масса одного порожнего вагона составляет 20 – 22 тонны, в то время как максимальный вес нагруженного вагона не должен превосходить 75 тонн.

Хочется отметить тот факт, что железнодорожные вагоны не подвергаются периодической аттестации. Это свидетельствует о том, что их реальная масса в процессе эксплуатации может отличаться от документально зарегистрированной. В частности, нами были проведены опыты по определению массы пустого вагона. Случайным образом нами были выбраны из состава (состав в среднем состоит из 50 – 60 вагонов) 2 вагона. В сопроводительной документации отмечалось, что масса одного пустого вагона составляет 20 тонн. Для начала мы провели внешний осмотр этих вагонов, после чего в результате многократных измерений определили, что масса первого вагона составляет 19,5 тонн, а масса второго вагона составляет 19 тонн. Видимо данное несоответствие является результатом неоднократных ремонтных работ. Итак, получаем, что на 2 вагона мы имеет 1,5 тонны угля, которые шахта не учитывает. Если представить, что загружается коксующий жирный угол (КЖ), который является наиболее дорогостоящим, то получаем, что шахта дарит клиенту около 8500 рублей только с двух вагонов. Таким образом, получается, что с целого состава шахта терпит довольно большие убытки.

Способ автоматизации

Первый вариант решения, предложенный нами, был таков, что перед погрузкой угля необходимо взвешивать каждый вагон состава и фиксировать полученные значения в сопроводительной документации и только после этого нагружать состав, учитывая уже реальную массу вагона. Но шахты отвергли данный вариант решения, так как для проведения данной процедуры требуются определенные временные затраты, на которые шахты идти не готовы. Кроме этого остается риск перегрузки вагона и, соответственно, материальные потери.

Второй вариант функционирования погрузочного устройства, который является, на наш взгляд,

наиболее приемлемым, предлагает облегчить работу оператора и автоматизировать процесс погрузки. Нами предполагается регулировать работу погрузочной воронки в зависимости от показания весов. Как только весы покажут значение 75 тонн, погрузочная воронка закрывается и прекращается подача угля в вагон. Но теперь стоит вопрос о равномерности погрузки вагона. Предлагается ввести зависимость скорости перемещения лебедки от увеличения показания весов. Остается главный вопрос: как определить массу загруженного угля? Как только пустой вагон становится на весы, предлагается автоматическое их включение и регистрация данного значения в определенном запоминающем устройстве. После окончания погрузки, полученные данные о массе пустого вагона и массе загруженного вагона передаются вместе с сопроводительной документацией клиенту.

Компьютерная система контроля процесса погрузки угля

В докладе представлена компьютерная система контроля процесса погрузки угля, разработанная с использованием технологии виртуальных приборов, и ее программная реализация в графической среде LabVIEW.

LabVIEW является средой программирования, с помощью которой можно в сравнительно короткий срок создавать приложения, используя графическое представление всех элементов алгоритма [4]. Среда функционирует на компьютерах, работающих под управлением всех распространенных операционных систем: Windows, MacOC, Linux и др.

Пакет LabVIEW изначально был создан для облегчения работы по программированию инженерных задач, связанных со сбором и обработкой измерительных данных в реальном времени. Для этой цели существует расширенная библиотека функций и готовых к использованию подпрограмм. Мощный графический язык программирования LabVIEW позволяет в сотни раз увеличить производительность труда. В среде LabVIEW также содержатся специальные библиотеки виртуальных приборов для ввода/вывода данных со встраиваемых аппаратных средств (data acquisition – DAQ), для работы с каналом общего пользования (General Purpose Interface Bus – GPIB), управления устройствами через последовательный порт RS-232, программные компоненты для анализа, представления и сохранения данных, взаимодействия через сеть Internet.

На рис. 1 представлена виртуальная панель компьютерной системы для контроля процесса погрузки угля. Система производит контроль веса вагона, который загружается углем. На виртуальной панели отображается вес пустого вагона поставленного под погрузку, текущий вес вагона с загруженным углем, вес загруженного вагона после процесса погрузки и вес загруженного угля для потребителя. Для обеспечения равномерности загрузки оператор устанавливает скорость движения вагона, а система управляет задвижкой погрузочной воронки. Теперь оператору погрузки угля совсем не обязательно быть очевидцем самого процесса, он может находиться в более комфортных условиях, работая в кабинете и даже в другом городе, осуществляя при этом непрерывную загрузку. Работая с этой системой, от оператора больше не требуется столь высокой концентрации внимания, так как разработанная система не допустит перегрузки вагона.

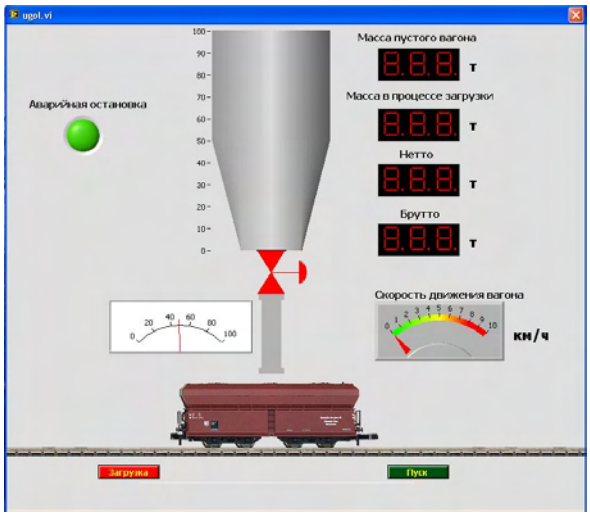


Рис. 1 Виртуальный панель компьютерной системы контроля процесса погрузки угля

В работе системы предусмотрен режим ручного управления движением вагона и функционирования задвижкой погрузочной воронки, а так же режим экстренной остановки процесса погрузки.

Вывод

Разработанная компьютерная система контроля процесса погрузки угля позволяет свести к минимуму человеческое влияние на погрузочные работы, ускорить процесс погрузки, увеличить точность показаний веса отгружаемого угля, обеспечить контроль состояния технологического оборудования и технологического процесса в реальном времени. В настоящее время рассматриваются предложения об оснащении данной системы контроля телевизионными камерами для визуализации процесса погрузки угля.

Список литературы

1. Батицкий В.А., Куроедов В.И., Рыжков А.А. – Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности. – М.: Недра, 1991. – 303 с.
2. Попович Н.Г., Данильчук Г.И., Лисовский В.С., Янчук Г.М. – Автоматизация производственных процессов угольных шахт – К.: Вища школа, 1978. – 336 с.
3. Левин М. А., Ленский И. А., Весо-дозировочные системы для отгрузки угля потребителям. – М.: Недра, 1984 – 192 с.
4. Трэвис Дж. LabVIEW для всех. – М.: Издательство ДМК Пресс, 2005.

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС «М-1» ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Иванов Д.С., Куц И.А.

Генеральный директор: Коннов В.В. д.т.н., профессор

ЗАО НПЦ «Молния», 634028, Россия, г. Томск, ул. Аркадия Иванова, 8
E-mail: molkon.tomsk@bk.ru

Научно-производственный центр «Молния» является одной из ведущих компаний в области технической диагностики и неразрушающего контроля, более 7 лет проводит работы по экспертизе промышленной безопасности и техническому диагностированию опасных производственных объектов ОАО «Газпром». Основным направлением деятельности являются: диагностирование газораспределительных станций, запорно-регулирующей арматуры, тройниковых соединений, магистральных трубопроводов и их взаимных пересечений, а также диагностическое сопровождение капитального ремонта магистральных трубопроводов.

При бесконтактном наземном обследовании газопроводов применяются различные методы и способы обследования:

• электрометрическая диагностика (определение электрозащищенности трубопровода, глубины его залегания, определения состояния и мест локальных повреждений изоляционного покрытия, оценка состояния и эффективности средств электрохимической защиты, определение коррозионной агрессивности грунта);

• магнитометрическое обследование (определение аномалий магнитного поля над трубопроводом и связанных с ними зон концентрации механических напряжений);

• воздушное видеотепловизионное обследование;

• обнаружение утечек газа с помощью газоанализа-торов и др.

По результатам бесконтактного обследования выполняют шурфы на наиболее поврежденных участках. В шурфах обследуют состояние изоляции, металла трубы и сварных соединений с применением контактных методов неразрушающего контроля: визуально-измерительного, ультразвукового, магнитного, радиационного и др., определяют структуру, химический состав и физико-механические свойства металла трубы.

В новом приборном комплексе «М-1» для бесконтактного диагностирования трубопроводов объединены электрометрический и магнитометрический методы неразрушающего контроля, встроен GPS-приемник и акселерометр. Оператор может отклоняться от оси трубы на 2 м при его движении по трассе. Комплекс «М-1» позволяет непрерывно, бесконтактно и автоматически определять в режиме реального времени следующие параметры трубопровода:

• отклонения магнитного поля над трубопроводом, свидетельствующие о наличии зон концентрации механических напряжений в металле трубопровода;

• локальные повреждения и электрическое сопротивление изоляционного покрытия;

• географические координаты оси и элементов трубопровода, обнаруженных повреждений и дефектов, пересечений с искусственными и естественными объектами;

• глубину залегания трубопровода;

• места контакта защитного кожуха с трубопроводом на переходах через автомобильные и железные дороги.

Комплекс «М-1» состоит из следующих функциональных блоков (рис. 1): генератор измерительного тока; блок индукционных датчиков; блок магнитометрических датчиков; компьютеризированный вычислительный блок; GPS-приемник; измеритель пройденного расстояния (одометр).

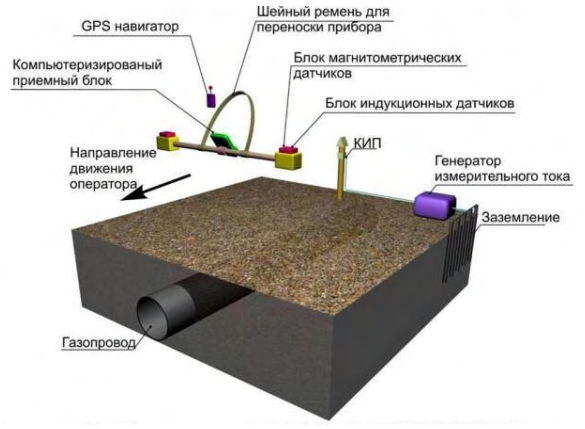


Рис. 1. Состав приборного комплекса для бесконтактной диагностики подземных газопроводов «М-1»

Генератор обеспечивает устойчивое протекание переменного тока по трубопроводу, значения которого регистрирует приёмный блок. В нем объединены блок приёмных антенн, блок обработки и отображения информации. Блок приемных антенн состоит из двух трехкомпонентных индукционных преобразователей для регистрации тока и двух трехкомпонентных магнитных преобразователей для регистрации параметров магнитного поля.

Измерение параметров трубопровода основано на регистрации электромагнитных полей, создаваемых переменным током в трубе, а также

на регистрации собственного магнитного поля трубопровода и магнитного поля Земли. Блок обработки, в режиме реального времени в процессе движения оператора вдоль оси трубопровода обеспечивает запись измеряемых параметров, а также выводит их на экран дисплея в графической и цифровой форме (рис. 2).

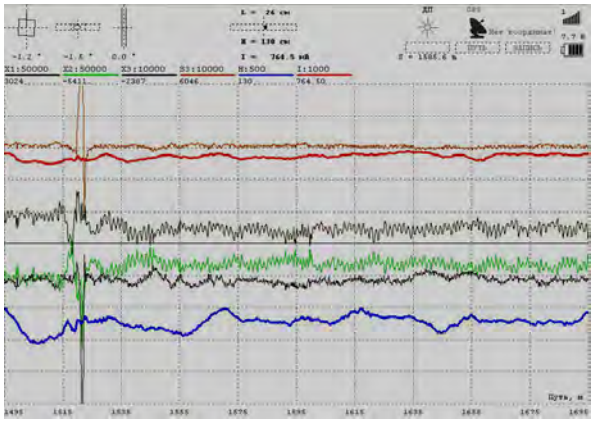


Рис. 2. Экран приборного комплекса «М-1»

Возможен вывод на экран следующей информации: величины измерительных токов, величины переходного сопротивления изоляции, глубина залегания трубопровода, составляющая индукции магнитного поля, географическая координата прибора, линейная координата прибора в вдоль трубопровода, положение прибора относительно горизонта и оси трубопровода.

Комплекс «М-1» снабжён звуковой сигнализацией для информирования о предельном отклонении оператора от оси. Для определения ориентации прибора по отношению к горизонту используется акселерометр.

В составе прибора имеется температурный датчик, который отслеживает температуру внутри вычислительного блока и информирует оператора о недопустимых отклонениях. Все полученные данные записываются в блок памяти прибора с шагом 10 см, что позволяет проводить детальную оценку состояния трубопровода.

Совместно с прибором «М-1» используется специализированное программное обеспечение, позволяющие обработать и оформить полученные данные в наглядной форме (рис. 3).

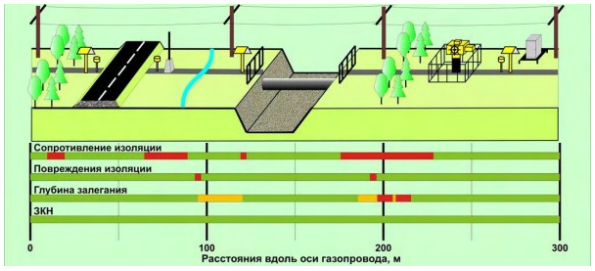


Рис. 3. Информация, предоставляемая на основе данных приборного комплекса «М-1»

С целью сравнения результатов, получаемых с помощью приборного комплекса «М-1», с результатами других используемых в ОАО »Газпром» приборов были проведены их испытания на действующем газопроводе. При этом использовались следующие приборы: система анализа состояния изоляционного покрытия и глубины залегания РСМ; искатель повреждения изоляции ИПИ; измерительная система для определения эффективности катодной защиты и контроля изоляционного покрытия MoData-2; измеритель концентрации напряжений ИКН-3М-12. Испытания проводились на контрольном участке трубопровода протяженностью 1400 м. Диаметр трубопровода составлял 1020 мм, толщина стенки трубы 11,5 мм, изоляционное покрытие – плёночное двухслойное. Испытания показали следующее:

• результаты определения мест повреждения изоляционного покрытия с помощью «М-1» совпадают с результатами, полученными системами MoData-2, РСМ и ИПИ;

• результаты измерения характеристик магнитного поля комплексом «М-1» над контрольным участком трубопровода совпадают с результатами, полученными с помощью измерителя ИКН-3М-12;

• результаты измерения географических координат встроенным спутниковым приёмником комплекса «М-1» и GPS-приёмником Garmin 76CSX находятся в пределах допустимых значений, характерных для спутниковых приёмников;

• чувствительность приборного комплекса «М-1» к магнитному полю на порядок выше, чем чувствительность измерителя ИКН 3М-12, что позволяет проводить контроль трубопроводов малого диаметра при большой глубине залегания;

• результаты измерений полностью подтверждаются обследованием трубопровода в контрольных шурфах.

Другими преимуществами комплекса «М-1» являются наглядность представления информации и воспроизводимость результатов контроля при их точной географической привязке. Это позволяет надежно определять и назначать места шурфов, а также осуществлять мониторинг технического состояния трубопровода в режиме периодического диагностирования.

В настоящее время приборный комплекс «М-1» рекомендован к сертификации и серийному производству.

Список литературы

1. Инструкция по интегральной оценке состояния изоляционного покрытия законченных строительством участков трубопроводов на переменном токе. – М.: ВНИИГАЗ, 1989.
2. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов. – М.: ВНИИГАЗ, 1992.
3. Кулеев В.Г., Дубов А.А., Лапатин В.В. // Дефектоскопия. 2002. №1. – С. 13.
4. Кулеев В.Г. Дефектоскопия. 2002. №6. – С. 65.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Игнатовский В.В., Волгин А.В., Юрченко А.В.

Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fernan@sibmail.com

Введение

В условиях уменьшения мировых запасов природного топлива (невозобновляемых ресурсов), а также дороговизны строительства альтернативных электростанций, большое внимание уделяется использованию солнечной энергии путем прямого преобразования в электрическую энергию. Для этой цели применяются кремниевые солнечные батареи (СБ). В настоящее время солнечные электростанции строятся не только в странах с высокой солнечной активностью, но практически во всех регионах мира с различными климатическими условиями. Поэтому актуально изучение влияния климатических факторов на энергетические характеристики СБ и соответственно разработка устройств, позволяющих проводить мониторинг работы СБ при воздействии климатических факторов.

Факторы, влияющие на работу СБ, на основе анализа работы 1996–2004 гг.

При выборе устройств мониторинга, а также факторов, влияющих на работу солнечных элементов и батарей, в реальных условиях необходимо учитывать различные процессы, протекающие во время работы батарей. Например, при преобразовании любого типа энергии часть уходит на нагревание элементов. То же самое происходит в СБ – поверхность может нагреваться до 80–100 °С. Это приводит к изменению параметров установки, повышенному износу СЭ, уменьшению эффективности СБ. Так как при повышении температуры (да и вообще изменении) свойства кремния меняются, то необходимо изучение влияния температуры и освещенности на фотоэлектрические и радиационные характеристики солнечных элементов, работающих в реальных условиях.

Факторы можно разделить на две группы:

• аппаратные, обусловленные конструкцией и технологией изготовления СБ, углом размещения по отношению с горизонту;

• климатические, обусловленные воздействием различных климатических параметров на выходные энергетические характеристики СБ (например, солнечная радиация, температура воздуха, влажность, скорость ветра, концентрация аэрозолей).

Преобразование энергии в СБ основано на фотовольтаическом эффекте в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. В отличие от других источников тока характеристики солнечного элемента зависят от количества падающего на ее поверхность солнечной радиации.

При работе СБ без охлаждения в ней выделяется большое количество тепловой энергии и рабочая температура возрастает. Значительное повышение температуры влияет на концентрацию носителей заряда, а также на процесс поглощения солнечной радиации, в результате чего изменяются выходные параметры СБ. Ее рабочая температура будет зависеть от температуры окружающего воздуха и скорости ветра, определяющая интенсивность теплообмена.

На параметры СБ заметно влияет влажность воздуха, потому что одна из полос поглощения солнечного излучения водяным паром лежит в диапазоне наиболее эффективной спектральной области работы СБ, также влажность влияет на процессы теплообмена между СБ и окружающей средой.

Мобильная станция мониторинга работы СБ

Для изучения влияния факторов на работу СБ, а также определения ее эффективности, разработана электронная нагрузка, позволяющая измерять ВАХ СБ. Основные характеристики СБ определяются на основе ее измеренной ВАХ, а именно КПД, ток короткого замыкания (КЗ) и напряжение холостого хода (ХХ). На основе электронной нагрузки разработана мобильная станция мониторинга работы СБ, структурная схема которой представлена на рис. 1.

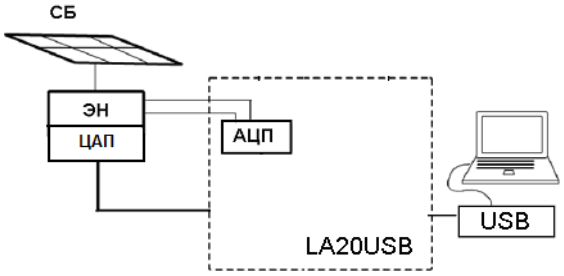


Рис. 1. Структурная схема станции

Основным элементом станции мониторинга является электронная нагрузка (ЭН), которая изменяет свое сопротивление в зависимости от подаваемого на нее напряжения с ЦАП. Это позволяет измерять посредством АЦП напряжение на изменяющейся нагрузке солнечной батареи. Принцип действия электронной нагрузки основан

на изменении сопротивления затвора полевого транзистора VT1. Принципиальная схема электронной нагрузки представлена на рис. 2. Управление затвором транзистора обеспечивается микросхемой DA1 через операционный усилитель.

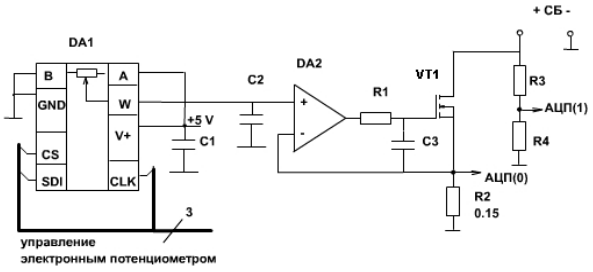


Рис. 2. Принципиальная схема ЭН

Созданная мобильная станция мониторинга содержит электронную нагрузку, блок управления, средства для измерения параметров, учитывающих климатические факторы, а также датчик температуры рабочей поверхности солнечной батареи, средства для измерения суммарной солнечной радиации. При этом эквивалент нагрузки и все упомянутые измерительные средства соединены с блоком управления, а эквивалент нагрузки имеет вход для соединения его с исследуемой солнечной батареей.

Анализ натурных испытаний СБ в регионах Сибири и Дальнего Востока

Были проведены испытания различных типов СБ мощностью от 5 до 600 Вт, в различных регионах Сибири и Дальнего востока.

Проанализировав результаты натурных испытаний в г.Томске, сделан вывод о времени эффективной работы СБ в климатических условиях г. Томска: с 10 до 19 часов и в течении марта-сентября, системы слежения за солнцем позволяют увеличить отбор мощности до 30 %. За 1 год на 1 м^2 земной поверхности приходится (в среднем за 6 лет) 1165 кВт·ч солнечной энергии, т. е. батареи МС-14-10 площадью 0,18 м^2 с КПД=13 % вырабатывает в среднем 28 кВт·ч в год.

В результате проведенных исследований с использованием мобильной станции была собрана база данных, состоящая из даты, времени, метеопараметров, температуры СБ и вольтамперной характеристики. С учетом данных, собранных с 1996 г., объем базы данных составил более чем 20000 записей.

Данная база данных позволила на основе методов статистической обработки разработать математическая модель солнечных энергетических систем с погрешностью оценки выработки мощности не более 5% [1.

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии

В 2008 г. На крыше 10 корпуса ТПУ установлен 240 Вт солнечных комплекс, который обеспечивает электропитание 205 ауддиторию Для оценки эффективности применения подобных систем. Была создана Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)

В лабораторных условиях была построена АСКУЭ на этапе т.н. «последней мили» с применением оборудования компании «Инкотекс». Согласно проведенным исследованиям затухание PLC гораздо меньше ожидаемого. Получение PLC пакетов в рамках одной ТП составило 100%. Т.о. технология PLC как нельзя лучше подходит для локальных сетей сбора-передачи данных.

АСКУЭ состоит из 2-ч счетчиков Меркурий-203.2T (RS-232) и Меркурий 201 (PLC), концентратора Меркурий 225, преобразователя интерфейсов Меркурий-221 и программного обеспечения на ЭВМ.

Данные по PLC каналу поступают от счетчика М201 к концентратору М225, где предварительно обрабатываются и хранятся в энергозависимой памяти, затем передаются на ЭВМ. Данные от счетчика М203.2Т поступают через преобразователь интерфейсов М221(RS-232<->COM) непосредственно на ЭВМ.

С помощью ПО АСКУЭ осуществляет контроль не только за потреблением от городской сети, но и от солнечного энергетического комплекса мощностью 240 Вт. Учитывает сгенерированную и потребленную электроэнергию. За счет чего мы можем оценивать эффективность использование энергетического комплекса для освещения.

На рис. 3 показана блок-схема включения АСКУЭ в силовую сеть солнечного энергетического комплекса.

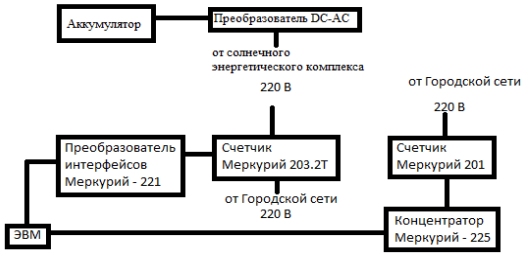


Рис. 3. АСКУЭ по оценке использования солнечного энергетического комплекса

Выводы

1. На основе разработанной электронной нагрузки создана мобильная станция мониторинга работы солнечных батарей в реальных условиях.

2. Проведены натурные испытания солнечных энергетичесих комплексов в Сибири и Дальнем Востоке и разработана статистическая модель солнечных энергетических систем с погрешностью оценки выработки мощности не более 5%.

Список литературы

1. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 314, – № 4. – С. 142–148.

БЛОК СОПРЯЖЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ СО СКВАЖИННЫМ ПРИБОРОМ ИГН-100-100/60-А

Калашникова Е.А.

Научный руководитель: Плотников И. А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aleksandrovna-el@inbox.ru

По мере перехода к бурению скважин с более сложным профилем, с большим углом наклона, возрастает важность инклинометрии. При решении таких сложных задач необходимо иметь точные данные о положении забоя. Одним из основных условий успеха наклонно-направленного бурения является возможность проследить траекторию скважины, получить информацию о текущем положении забоя и спрогнозировать, по какой траектории будет идти бурение дальше. Для решения этих задач используются средства инклинометрии, которые определяют направление скважины, ориентацию бурового инструмента и передают полученные данные на поверхность или сохраняют их в памяти прибора.

Инклинометрическая система состоит из скважинного прибора и наземного устройства обработки и отображения данных. В качестве канала связи используется или специально разработанное для передачи информации оборудование (например, каротажный кабель) или оборудование, которое используется в буровом процессе (например, колонна бурильных труб).

Наибольший интерес представляет гироскопический инклинометр, т. к. он может применяться при геофизических исследованиях скважин любого типа: вертикальных, наклонных, наклонно – горизонтальных, горизонтальных, обсаженных, необсаженных; скважин, бурящихся в том числе и в породах с ферромагнитными включениями.

В 1994 году на кафедре Точного приборостроения Томского политехнического университета был изготовлен комплекс скважинного гироскопического инклинометра ИГН-100-100/60. На рис. 1 представлена упрощенная принципиальная схема комплекса гироскопического инклинометра. Комплекс состоит из скважинного прибора (СП) и наземной аппаратуры (НА), соединенные между собой каротажным геофизическим кабель-тросом [1].

Блок чувствительных элементов скважинного прибора содержит два акселерометра A_x и A_y, закрепленных на корпусе, оси чувствительности которых перпендикулярны продольной оси прибора и направлены параллельно осям OX и OY приборной системы координат OXYZ соответственно; двухкомпонентный гироскопический измеритель абсолютной угловой скорости ДГИУС, оси чувствительности которого направлены вдоль осей OX и OY приборной системы координат; трехстепенный гироскоп направления с системой нивелирования главной оси, который при отключении системы нивелирования переходит в режим свободного гироскопа.

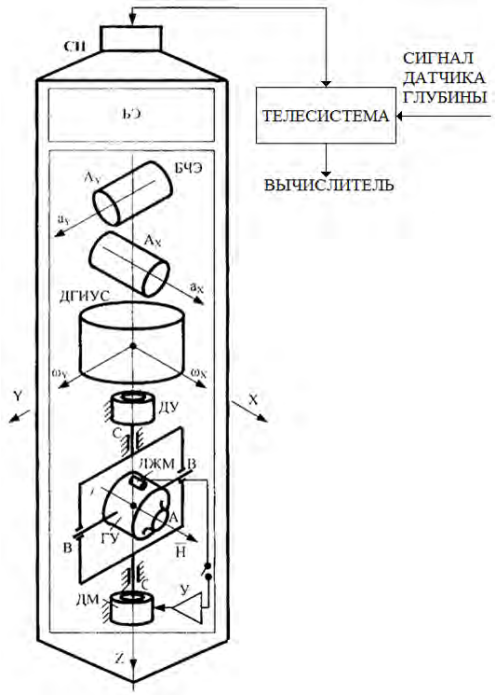


Рис. 1. Схема комплекса гироинклинометра

Определение ориентации СП осуществляется по отношению к горизонтальной, географически ориентированной опорной системе координат. Для ее построения используются два опорных вектора: ускорения силы тяжести g в точке замера и угловой скорости $\Omega_з$ вращения Земли.

Параметры ориентации приборной системы координат относительно опорной (зенитный, апсидальный углы, а также азимут плоскости наклонения) вычисляются на основании информации о проекциях вектора ускорения силы тяжести на оси OX и OY приборной системы координат a_x и a_y и о проекциях вектора угловой скорости вращения Земли ω_x и ω_y на эти же оси, а также широты места φ при неподвижном скважинном приборе.

В составе блока чувствительных элементов присутствует трехстепенный азимутальный гироскоп направления, т. к. гирокомпасирование невозможно при движении скважинного прибора и используемый прецизионный измеритель угловой скорости ДГИУС не функционирует при высоких

температурах. Трехстепенный гироскоп обеспечивает определение азимута плоскости наклонения при движении скважинного прибора, а также измерения на глубинах, где температура окружающей среды выше +70° С.

Предусмотрены три основных режима работы комплекса: «Выставка», «Остановка», «Движение».

Режим «Выставка» служит для точного определения зенитного и апсидального углов, определения азимута плоскости наклонения и азимута главной оси азимутального гироскопа направления. Режим «Движение» характеризуется высокой производительностью. Измерения ведутся непрерывно при движении скважинного прибора. Режим «Остановка» не является принципиально необходимым. В этом режиме зенитный и апсидальный углы определяются так же, как и в режиме «Выставка».

В данном инклинометре используется принцип аналитического построения опорных направлений. В качестве опорных векторов используются: вектор кажущегося линейного ускорения a, равный ускорению силы тяжести – g и направленный в противоположную сторону, и вектор угловой скорости вращения Земли $\Omega_З$.

Необходим ввод следующих данных: широта места φ; поправки $\Delta\omega_x$ и $\Delta\omega_y$ измерителя угловой скорости; величина систематической составляющей угловой скорости; дрейф трехстепенного гироскопа $\omega_{др}$; шаг измерения и распечатки результатов по глубине ΔL. Поправки $\Delta\omega_x$, $\Delta\omega_y$ и угловая скорость $\omega_{др}$ берутся из паспорта на СП.

В соответствии с принципом работы комплекса в режиме «Выставка» при неподвижном относительно Земли СП определяются, в следующей последовательности: 1) зенитный угол – β; 2) апсидальный угол – γ; 3) азимут плоскости наклонения – α; 4) азимут главной оси трехстепенного гироскопа – $\alpha_Г$ [2].

Вычислитель является важной составной частью данной системы ориентации, а важнейшей составной частью его функции – алгоритмы обработки информации.

Разработанный в 1994 году вычислитель, устарел и требовал модернизации. В связи с этим была разработана схема блока сопряжения вычислителя со скважинным прибором ИГН-100-100/60-А, для передачи информации со скважинного прибора на наземную аппаратуру, в данном случае ноутбук. Подключение стандартного персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением значительно упрощает задачу.

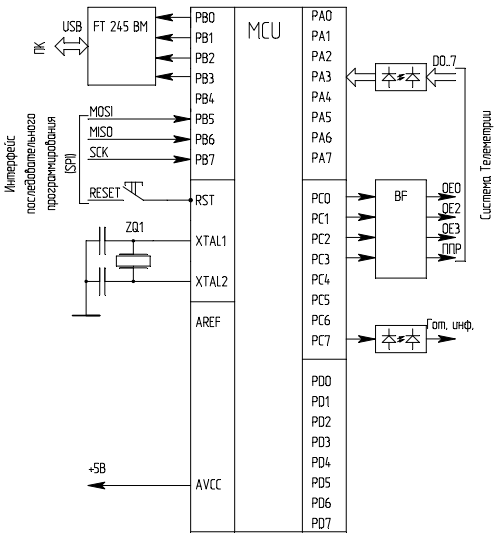


Рис. 2. Структураня схема блока USB/Параллельный код

Данный блок предназначен для преобразования параллеленого кода системы телеметрии в USB-код. Структурная схема блока USB/Параллельный код представлена на рис. 2. Блок сопряжения включает в себя: MCU – 8-разрядный микроконтроллер AVR ATMega32; микросхема FT 245 BM, предназначенная для преобразования USB протокола в параллельный интерфейс; BF – буфер КР1554АП5 – микросхема представляет собой два четырехразрядных магистральных передатчика без инверсии входной информации и тремя состояниями на выходе и применяется в микропроцессорных системах, системах обработки данных с магистральной организацей обмена; оптопара 6N137, выполняет функцию элемента связи, в котором в то же время осуществлена гальваническая развязка входа и выхода; ZQ1 – кварцевый резонатор.

На сегодняшний день разработан макет блока сопряжения и ведется разработка программного обеспечения.

Список литературы

1. Опыт создания гироскопического инклинометра / Белянин Л.Н., Голиков А.Н., Мартемьянов В.М., Самойлов С.Н. // Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: сб. статей / под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 2002. Т. 2. С. 34–50.
2. Алгоритмы вычислений в непрерывном гироскопическом и нклинометре / Л. Н. Белянин // там же. С. 55–63.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ

Калушевич А.А. Шугуров В.В.

Научный руководитель: Коваль Н.Н., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kalashman@sibmail.com

В последние годы среди различных областей применения мощных электронных пучков существенное место заняли процессы с облучением электронами больших поверхностей и значительных газовых объемов, например, при накачке электроионизационных газовых лазеров, в плазмохимии и энергетике [1].

В промышленности и исследованиях на сегодняшний день широкое распространение получили термокатодные ускорители электронов. Однако, импульсно-периодические ускорители электронов с плазменным эмиттером (рис. 1) имеют ряд преимуществ перед термокатодными:

- высокую энергетическую эффективность;
- высокую равномерность плотности тока ускоренных электронов по сечению пучка;
- малое время готовности к работе;
- моноэнергетичность электронов пучка;
- высокую надежность и значительный ресурс работы;
- более низкие требования к вакуумным условиям.

Данные особенности ускорителей электронов с плазменным эмиттером делают их применение эффективным и экономически целесообразным.

Ускоритель электронов с плазменным эмиттером «ДУЭТ», разработанный в лаборатории плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН имеет следующие характеристики:

- Энергия электронов до 180 кэВ
- Ток пучка до 80 А
- Длительность импульса 30 мкс
- Поперечные размеры пучка 150х600 мм
- Частота следования импульсов до 50 Гц

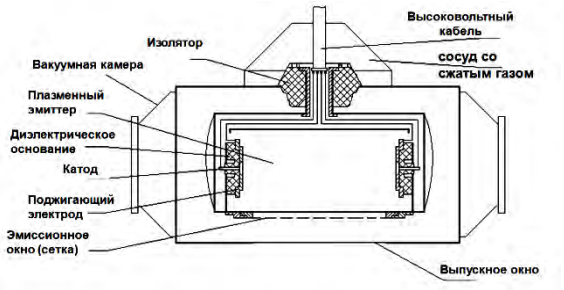


Рис. 1. Конструкция ускорителя электронов с плазменным эмиттером

Упрощенная конструкция ускорителя представлена на рис. 1. В вакуумной камере диаметром 80 см и длиной 130 см на проходном изоляторе закреплен сетчатый плазменный эмиттер, представляющий собой полый параллелепипед из нержавеющей стали диаметром 30 см и длиной 80 см, на концах которого закреплены два плазменных источника на основе контрагированного дугового разряда. Внутренняя поверхность плазменного эмиттера играет роль общего полого анода для двух источников плазмы. Источник плазмы состоит из диэлектрического основания, на котором закреплены цилиндрический магниевый катод и поджигающий электрод в виде полого цилиндра, разделенные зазором в 0,5 мм. На боковой стороне плазменного эмиттера имеется эмиссионное окно размерами 15х60 см, затянутое сеткой с ячейками 0,5х0,5 мм и геометрической прозрачностью 60%. Подвод электрического питания к плазменному эмиттеру осуществляется многожильным высоковольтным кабелем, помещенным, как и изолятор, в сосуд со сжатым газом. Вывод электронного пучка в атмосферу или в газ повышенного давления производится через выпускное окно размерами 15х60 см, перекрытое фольгой из алюминий-бериллиевого композита АБ-50 толщиной 40 мкм. Фольга уложена на водоохлаждаемую опорную структуру с геометрической прозрачностью 60%.

Автоматизация электрофизических установок на сегодняшний день является обязательным требованием. Автоматизация производства – это применение комплекса средств, позволяющих осуществлять производственные процессы без непосредственного участия человека, но под его контролем. Поэтому для широкого внедрения технологий с использованием ускорителя электронов «ДУЭТ» стоит задача по его автоматизации.

Ускоритель можно условно разделить на несколько основных блоков: вакуумная и газовая системы, водяная система, блок управления плазменным эмиттером, высоковольтная часть, система измерения параметров пучка, электрическое оборудование, технологическое оборудование.

Управление всеми блоками системы осуществляется персональным компьютером. Связь между ПК и всей системой осуществляется по стандарту RS-485 с оптической развязкой.

Управляет вакуумной, газовой, водяной системой, электрическим и технологическим оборудованием, высоковольтной частью промышленный контроллер.

Вакуумная система ускорителя предназначена для создания требуемого диапазона давлений в камере ускорителя для работы плазменного эмиттера ($1{,}5\cdot10^{-2}$ до $4\cdot10^{-2}$ Па). Водяная система служит для охлаждения диффузионного насоса и решетки окна для вывода электронного пучка.

Одним из достоинств ускорителя является возможность независимой регулировки его параметров (тока пучка, длительности импульсов, частоты их следования). За реализацию независимой регулировки этих параметров отвечает блок разряда, который имеет возможность дистанционного управления. Управление плазменным эмиттером осуществляется по отдельному оптическому каналу от ПК через микроконтроллер.

Высоковольтная часть включает в себя регулятор напряжения, высоковольтный каскадный генератор. Этой системой также необходимо управлять и проводить измерения.

Измерения параметров пучка производится осциллографом.

В ходе работы была составлена структурная схема автоматизации ускорителя электронов «Дуэт», после чего началась работа по разработке отдельных блоков системы.

Были разработаны вакуумная и водяная схемы.

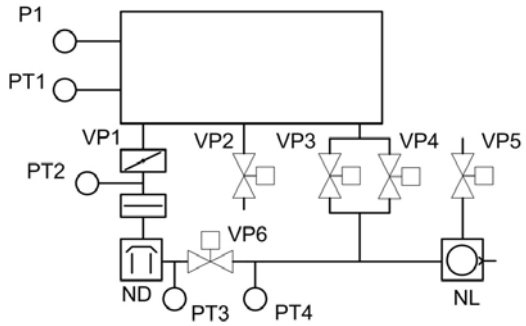


Рис. 2. Вакуумная схема ускорителя электронов с плазменным катодом

Для удаленного автоматического управления системами ускорителя «Дуэт» был выбран промышленный контроллер WAGO-I/O-SYSTEM 750.

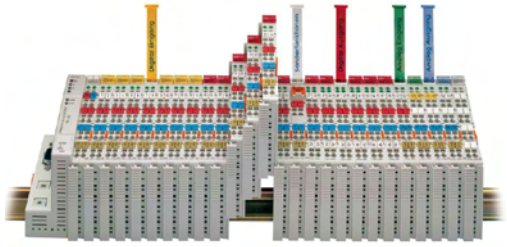


Рис. 3. Внешний вид WAGO-I/O-SYSTEM 750

Это оптимальная система узлового управления сетями, допустимая к применению в самых разнообразных сферах WAGO-I/O-SYSTEM рассчитана в своем тонкомодульном и независимом от управляющего узла дизайне на децентрализованные системы узлового управления сетями.

Для управления вакуумной схемой используются три режима, выбираемые оператором: автоматический, ручной и сервисный. В автоматическом режиме все управление берет на себя управляющая программа, оператор может выбирать лишь процедуры: включение насосов, откачка камеры, выключение насосов, открытие камеры. В ручном режиме оператор самостоятельно может управлять всеми узлами схемы. Однако, включены программные блокировки, с целью предотвращения аварийных ситуаций из-за ошибочных действий оператора. Сервисный режим – все программные блокировки отключены, присутствуют только электрические блокировки, которые защищают систему от серьезных аварий.

При разработке системы автоматизации для вакуумной системы выбраны все функциональные устройства, частично реализованы электрические и программные блокировки, дорабатывается программное обеспечение.

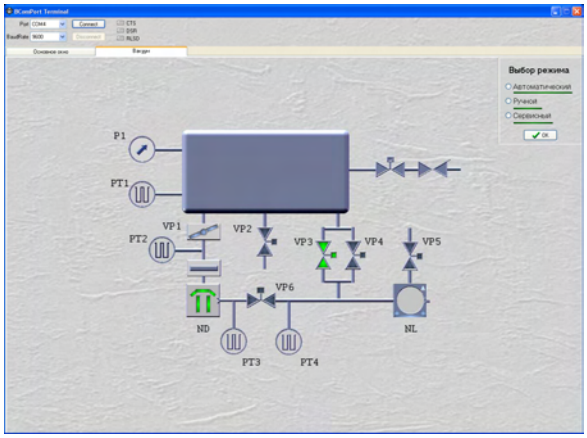


Рис. 4. Интерфейс управления вакуумной системой

Определенные здесь подходы автоматизации применимы не только к данному ускорителю и другим электронно-ионно-плазменным установкам, но и к системам во многих других отраслях промышленности.

Список литературы

1. Бугаев С.П., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М. Электронные источники большого сечения. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 112 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Капитонов С.С., Беспалов Н.Н.

Научный руководитель: Беспалов Н. Н., к.т.н.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
430005, Россия, г. Саранск, ул. Б. Хмельницкого 39
E-mail: eltech-mgu@mail.ru

В настоящее время силовые полупроводниковые приборы (СПП) получили широкое распространение в самых различных областях электротехники и электроники. Надежность преобразователей на основе СПП, в качестве которых широко применяются силовые диоды и тиристоры, при эксплуатации определяется надёжностью составных элементов, в частности СПП.

Надёжность СПП, в свою очередь, определяется их исходным качеством и режимами эксплуатации. Некоторые величины этих параметров и характеристик разработчиками приборов приводятся в паспортных данных на тип СПП. Однако величины параметров характеристик серийных СПП имеют значительный разброс, вызванный естественной нестабильностью технологии производства.

Отсутствие учёта вариации величин параметров СПП в реальных режимах эксплуатации приводит к неэффективности подбора для группового соединения, что при определённых условиях эксплуатации приводит к повышению вероятности отказа отдельных приборов, ведущему к выходу из строя преобразователя в целом.

В данной работе рассмотрено одно из возможных схемных решений испытательной аппаратуры для испытания СПП и определения величин электрических параметров в состоянии низкой проводимости.

Определение вольтамперной характеристики (ВАХ) и класса СПП по напряжению в настоящее время затруднено отсутствием эффективных методик, обеспечивающих объективное определение основных критериев их годности в состоянии низкой проводимости – импульсных токов в закрытом (I_{DRM}) и обратном (I_{RRM}) состояниях. По значениям этих параметров определяются, соответственно, предельные значения повторяющихся импульсных напряжений в закрытом состоянии (U_{DRM}) и обратном состоянии (U_{RRM}), которые, в свою очередь, и определяют класс СПП по напряжению.

Проверку класса, или определение повторяющегося напряжения $U_{D(R)RM}$, проводят согласно действующему стандарту [1] при предельной температуре полупроводниковой структуры. На рис. 1 представлены диаграммы последовательности импульсов напряжения, прикладываемого к испытуемому прибору (ИП) для определения класса, и тока, протекающего через ИП.

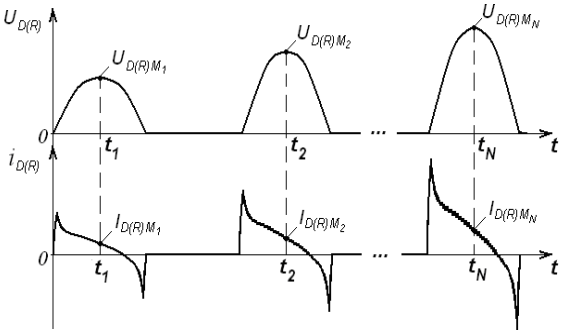


Рис. 1. Диаграммы импульсов напряжения на ИП, и тока через него в ходе испытаний

Измерение текущей величины $I_{D(R)M}$ осуществляется в момент, когда импульс напряжения достигает амплитуды, при которой скорость изменения напряжения $dU_{D(R)M}/dt$ равна нулю. При достижении величины $I_{D(R)M}$ установленной для испытуемого типа приборов классификационной повторяющейся величины тока $I_{D(R)RM}$ или при некотором ее превышении процесс увеличения амплитуды напряжения прекращается. При этом в зависимости от величины этой амплитуды напряжения вентилю присваивается определенный класс по напряжению, которому соответствует величина $U_{D(R)RM}$ /100. В случае, если полученная величина оказывается дробной, то класс вентиля определяется целым числом, меньшим из двух соседних целых чисел, между которыми лежит искомое дробное число. Подобная градуировка производится, если класс вентиля более 3. При меньших значениях для наиболее полного использования вентиля по напряжению классификация по классам производится через 0,5.

Представляет интерес рассмотреть возможность контроля параметров критериев годности СПП при нормальной температуре 20–25 ^{0}С.

Эквивалентная схема *p-n* перехода в состоянии низкой проводимости представляет собой параллельное соединение нелинейной активной и емкостной составляющей со значительной барьерной емкостью $C_б$ [2], которая зависит от прикладываемого напряжения. В связи с этим в испытательной цепи ИП, при приложении к нему изменяющегося напряжения $u_{D(R)}$ протекают активная

$i_{D(R)A}$ и емкостная $i_{D(R)C}$ составляющие суммарного тока $i_{D(R)_\Sigma}$.

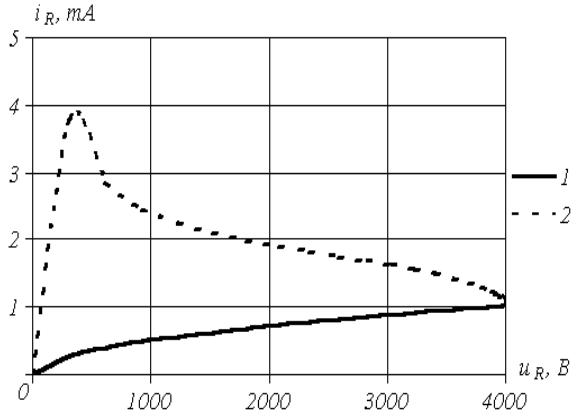


Рис. 2. Статическая (кривая 1) и динамическая (кривая 2) ВАХ p-n перехода тиристора Т273–1250 при температуре 20^0C

На рис. 2 представлена ВАХ центрального *p-n* перехода тиристора Т273–1250, при температуре полупроводниковой структуры $20\,^0$С без учёта емкостного тока (кривая 1– статическая ВАХ) и с его учётом (кривая 2 – динамическая ВАХ), из которого видно, что при прикладывании к тиристору импульса обратного напряжения полусинусоидальной формы, статическая и динамическая ВАХ не совпадают [3]. Кроме того при малых величинах напряжениях и больших скоростях его нарастания емкостной ток в несколько раз превышает ток генерации.

При этом зона, где наблюдаются значения погрешности измерения тока $I_{D(R)M}$ меньше предельной, близка к амплитудному значению. В связи с этим для объективного измерения тока $I_{D(R)M}$ в «холодном» состоянии при испытании СПП требуется применять такую зависимость испытательного напряжения, при которой в момент измерения обеспечивается скорость изменения испытательного напряжения $du_{D(R)}/dt \approx 0$.

Определение ВАХ производится по точечным значениям измеряемой амплитуды испытательного импульса напряжения $U_{D(R)M}$ и тока $I_{D(R)M}$.

На рис. 3 показана функциональная схема разрабатываемого аппаратно-программного комплекса, где ИПН – источник импульсов напряжения; ИП – испытуемый прибор; ДН – датчик напряжения; ТШ – токовый шунт; СЗ – система защиты; СС – система слежения; ПК – персональный компьютер, в состав которого входят: АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; DI/O – цифровые входы; монитор – для отображения процесса измерения; мышь и клавиатура – для управления процессом измерения.

Источник импульса напряжения (ИПН) обеспечивает изменение амплитуды импульсов напряжения $U_{D(R)M}$ шагом 10–50 В до загиба ВАХ или до нормированного значения обратного тока, частоту повторения импульсов 1–50 Гц при длительности $10 \pm 0{,}1$ мс.

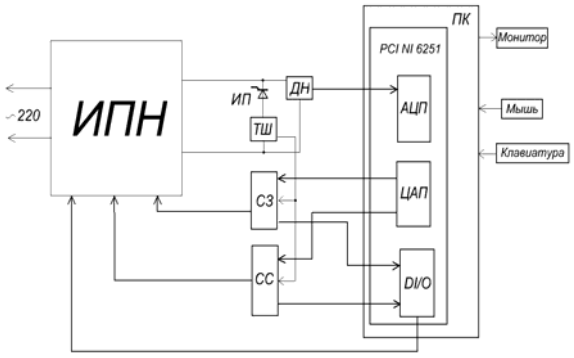


Рис. 3. Функциональная схема аппаратно-программного комплекса

Аппаратно-программный комплекс работает следующим образом. ИПН формирует импульсы с плавно нарастающей амплитудой. Напряжение $u_{D(R)}$ с ИПН прикладывается к ИП, находящемуся в состоянии низкой проводимости. Одновременно происходит измерение сигнала напряжения с выхода ДН, который поступает на вход АЦП. Данные с АЦП обрабатываются компьютером и отображаются на мониторе. Для дальнейшего использования данные сохраняются в памяти компьютера.

При достижении тока утечки через ИП номинального значения СС выдаёт сигнал, прекращающий подачу импульсов с ИПН на ИП. Для измерения тока утечки через ИП используется ТШ. Значение напряжения с ТШ, пропорционального току сравнивается СС с заданным значением опорного напряжения с ЦАП. Кроме того, величина тока, протекающего через ТШ, поступает на входы АЦП измерительной платы, для дальнейшего отображения на мониторе ПК и контроля процесса измерения оператором.

Измерительная часть схемы устройства выполнена на основе платы сбора данных PCI–6251 компании «National Instruments», встроенной в компьютер. Обработка данных и управление измерением, производится компьютером, работающим под управлением программы, написанной на языке визуального программирования LabVIEW.

Список литературы

1. ГОСТ 24461–80 (СТ. СЭВ 1656–79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 56 с.
2. Лабунцов В.А., Тугов Н.М. Динамические режимы эксплуатации мощных тиристоров. – М. : Энергия, 1977. – 192 с.
3. Беспалов Н.Н. Исследование ВАХ силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости и требования к испытательной аппаратуре / Н.Н. Беспалов, Ю.М. Голембиовский, Н.В. Трофимов // Электротехнические комплексы и силовая электроника, анализ, синтез и управление. – Саратов, СГТУ, 2002. – С. 4–10.

ПРИЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ КАРОТАЖНОГО КАБЕЛЯ

Киреев В.В.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М.

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: strayker13@sibmail.com

В данной работе проведен анализ источников литературы с целью ознакомления с существующими установками и подбор новых способов, элементов для повышения надежности и точности измерения глубины погружения скважинного прибора (СП).

Аппаратура для геофизических исследований скважин (скважинная аппаратура) предназначается для непрерывной регистрации либо точечных определений одного или нескольких геофизических параметров вдоль ствола скважины [1].

Тип скважинной аппаратуры определяется также каротажным кабелем, для работы с которым она предназначается.

Каротажный кабель служит электрической линией связи между скважинным прибором и наземной частью комплекта аппаратуры, а так же для проведения спускоподъемных операций со скважинным прибором.

По длине спущенного в скважину кабеля определяются глубина, на которой находится СП. Кабель должен обладать малым диаметром и достаточной гибкостью для намотки его на барабан лебедки небольшого диаметра [2].

Спуск и подъем СП осуществляется с помощью подъемника, блок-баланса и кабеля. Спускоподъемное оборудование, установленное на автомобиле, называется подъемником. Для производства геофизических работ используются подъемники с лебедками разных размеров и конструкций – в зависимости от типа и длины кабеля.

При спускоподъемных операциях (СПО) каротажный кабель подвергается воздействию комплекса разнообразных факторов. Часть кабеля, находящаяся в скважине, вытягивается под действием собственной массы, массы СП и температуры, возрастающей примерно на 1°С на каждые 30 м. При подъеме растяжению кабеля способствуют затяжки и прихваты СП, трение кабеля о стенки скважины и высокая вязкость окружающей среды (жидкости). Растяжение кабеля по этим причинам составляет несколько метров в скважинах глубиной 2–5 км и может достигать десятков метров в сверхглубоких скважинах. Бронированные кабели подвергаются в скважине процессам коррозии под суммарным воздействием среды с щелочными и кислотными свойствами и температуры.

Часть кабеля, намотанная на барабан лебедки, испытывает обжимающее воздействие, вызванное натягом выпущенной части кабеля и сокращением длины нагретого в скважине кабеля при его остывании.

Нормальная работа каротажных кабелей в перечисленных условиях обеспечивается строгим соблюдением правил их эксплуатации. Кабель должен наматываться на барабан лебедки виток к витку под первоначальным натягом, приблизительно равным натягу в скважине и предотвращающим образование петель, «фонарей» из-за скручивания кабеля вследствие высокого крутящего момента брони. Особое внимание обращается на места перехода от одного слоя намотки к другому, здесь не должно быть вдавливаний верхних витков кабеля в промежутки между нижними, перехлестывания витков между собой, так как это вызовет повреждение изоляции токопроводящих жил. При спуске СП нельзя допускать перепуск кабеля во избежание образования петель, снижающих механическую прочность кабеля.

Срок службы кабеля характеризуется общим пробегом через мерный ролик, включая спуски и подъемы. Бронированный кабель допускается эксплуатировать, если число порывов отдельных проволок верхнего повива брони не превышает 10 на рабочем интервале и проволоки стерты не более чем на 25%. Кабели с резиновой изоляцией, а также бронированные, рассчитанные на рабочую температуру 250°С, допускается эксплуатировать при температуре воздуха на поверхности от –40 до 50°С, остальные кабели – от –50 до 50°С. Скорость СПО не должна превышать 2,8 м/с, а диаметр мерного ролика не должен быть меньшим сорока диаметров кабеля. При подъеме СП необходимо на устье скважины обливать кабель струей воды для его очистки. [3]

Для записи кривых ГИС в функции глубины скважины и контроля СПО необходимо непрерывно измерять длину спущенного в скважину кабеля или глубину забоя скважины и передавать перемещение кабеля или бурильного инструмента регистраторам и контрольным приборам. Такие измерения выполняют двумя способами: с помощью мерного ролика и путем считывания магнитных меток.

Скорость вращения мерного ролика пропорциональна длине прошедшего через него кабеля. Для измерения глубины нахождения СП в скважине и протяжки ленты регистратора в функции глубины принято, что один оборот ролика соответствует определенной длине L кабеля (например, 2 м для бронированных кабелей). Отсюда расчетный радиус *r* по дну желоба мерного ролика $r = (l–nd_K)/2n$, где d_K – диаметр кабеля. Для дис-

танционной передачи вращения мерного ролика на буровой к приборам АКС используется сельсиновая синхронная передача на сельсинах. Погрешность мерного ролика, связанная с проскальзыванием кабеля по мерному ролику и несоответствием расчетного диаметра ролика фактическому диаметру кабеля, в глубоких скважинах достигает ± 5–10 м; поэтому результаты измерений используются только для визуального контроля за СПО.

Длина спущенного в скважину кабеля корректируется путем нанесения на него через определенные расстояния (20–40 м) магнитных меток и их последующего считывания. Разметка проводится так, чтобы учесть неравномерное удлинение кабеля и тем самым обеспечить достаточно точное определение глубин при различных операциях в скважине. Существуют три способа разметки: с помощью стационарной разметочной установки; с помощью переносного разметочного устройства и вручную с использованием мерной ленты. Для считывания магнитных меток используется магнитный меткоуловитель. Магнитный меткоуловитель представляет собой магнитомодуляционный датчик, рис., сигнал которого при прохождении магнитной метки не зависит от скорости перемещения кабеля. Погрешность измерения глубин по магнитным меткам не превышает ± 1,5 м в скважинах глубиной 2 км и ± 2,5 м в скважинах глубиной до 4 км [3].

Стационарная разметочная установка (Рис. 1) предназначена для автоматической разметки бронированных кабелей диаметром от 4 до 16 мм, длиной до 7000 м и состоит из мерной базы и измерителя длины. Разметка производится с учетом переменного натяжения кабеля в скважине. Погрешность измерения ± 0,02 %, скорость разметки 1,4 м/с.

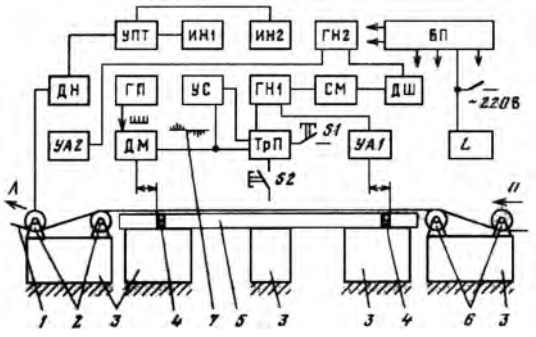


Рис. 1. Стационарная установка

Для проведения разметки подъемник П с измеряемым кабелем устанавливается на расстоянии 10 м от мерной базы и затормаживается. Кабель 1 заправляется в мерную базу, состоящую из установленных на тумбах 3 направляющих роликов 2 и 6 и эталона длины 5, и закрепляется на барабане стационарной лебедки Л. Предварительное размагничивание кабеля производится дросселем *L*, установленным между направляющими роликами 6, при подаче на его обмотку переменного напряжения частотой 50 Гц. Счетчик меток СМ и индикаторы натяжения кабеля ИН1 и ИН2 переводятся в нулевые положения и на кабель с помощью электромагнита *УА1*, установленного в начале эталона 5, наносится первая метка последовательным нажатием кнопок *S1* «Подготовка» и *S2* «Метка». При дальнейшем движении кабеля по направлению стрелок первая метка перемещается к датчику меток ДМ, где происходит ее считывание. На выходе ДМ, возбуждаемого импульсным током от генератора подмагничивания ГП, появляется двуполярное напряжение 7. Положительным полупериодом этого напряжения триггер подготовки $Тр_П$ переводится в положение «Подготовка», а от отрицательного полупериода срабатывает сравнивающее устройство УС переводящее ТрП в положение «Метка». В этот момент генератор намагничивающего тока ГН1 подает в обмотку *У* At импульс тока и на кабель наносится следующая метка. Далее процесс повторяется автоматически.

Расстояние между *УА1* и ДМ, установленными рядом с концевыми упорами 4, равно 10 м. Для облегчения определения числа меток, нанесенных на каротажную диаграмму, после каждой десятой метки на удаление 1,3 м от нее наносится дополнительная сигнальная метка с помощью электромагнита *УА2* и генератора тока ГН2. Команды на постановку сигнальных меток подаются из счетчика СМ через дешифратор ДШ, выделяющий каждую десятую метку.

Натяжение кабеля при разметке регулируется торможением лебедки подъемника. Для измерения натяжения примерно десятая часть прикладываемого усилия отводится на силоизмерительный датчик натяжения ДН, установленный в полуоси выходного ролика 2. Сигналы датчика усиливаются схемой УПТ и подаются на индикаторы ИН1 и ИН2, размещенные в пультах подъемника и стационарной лебедки.

Более точные результаты, учитывающие фактически действующие натяжения, получают при разметке кабеля с помощью переносного разметочного устройства во время подъема СП из скважины. При необходимости кабель размечается непосредственно на скважине с помощью стальной мерной ленты длиной 20 м. [4]

Проведя анализ источников литературы и рассмотрев принцип действия всех устройств данного типа, была поставлена задача создать более новую систему с меньшей погрешностью.

Список литературы

1. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин / под общ. ред. Л.И. Померанца, Д.В. Белконов, В.Ф. Кодяр. – М.: Недра,1981.
2. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин / под общ. ред. Л.И. Померанца. – М.: Недра,1981.
3. Аппаратура и оборудование для геофизических методов исследования скважин. 2–е изд., перераб. – М.: Недра,1978.
4. Геофизические и прямые методы исследования скважин. Мухер А.А., Шакиров А.Ф. – М.: Недра,1981.

ОПТИМИЗАЦИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРПУСОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА С УЧЕТОМ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Классман Е.В.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: elenka_kv@mail.ru

В наше время результаты космической деятельности находят все большее применение во многих сферах жизнедеятельности человека.

Одной из основных тенденций развития систем ориентации космических аппаратов является уменьшение массогабаритных характеристик при одновременном улучшении функциональных возможностей, в том числе за счет уменьшения массы корпуса исполнительного органа (ИО).

Достижения последних 10 лет в области микроэлектроники и микроэлектромеханики позволили создавать малые космические аппараты, ни в чем не уступающие по функциональным возможностям большим аппаратам.

Анализ тенденций совершенствования технических характеристик исполнительных органов в рамках развития малообъемной космической техники показывает, что в ближайшей перспективе доминирующее место в космических программах займут микро– и нано– спутники.

В классическом исполнении ИО представляет собой электрический двигатель с маховиком, установленным в карданов подвес или жестко на корпус космического аппарата (КА).

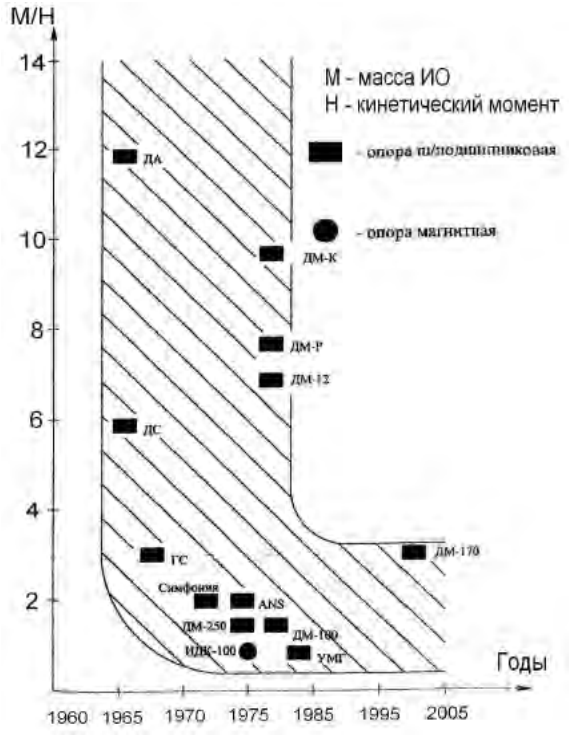


Рис. 1. Тенденции изменения удельно-массовой характеристики

Анализ опубликованных материалов за период 1965–2007 гг. [1, 3] показывает, что ИО интенсивно совершенствуются – повышается точность ориентации, улучшаются массогабаритные характеристики, увеличивается ресурс и др. (рис 1).

Также по мере развития космической техники постоянно растут и требования к системам ориентации, совершенствуются технологии их проектирования и расчета. Поэтому одним из основных требований при разработке исполнительных органов систем ориентации (СО) космических аппаратов является проведение механического анализа конструкции.

Механический анализ – это прочностной анализ конструкции методом конечных элементов, наиболее распространенным и эффективным на сегодняшний день методом прочностного расчета.

В настоящей диссертационной работе поставлена задача – определить наиболее технически выгодные, с точки зрения конфигурации, конструкции из наиболее часто применяемых корпусов, а также провести их оптимизацию и минимизации массогабаритных характеристик

Работа предусматривает создание математической конечно-элементной модели и проведение механического анализа конструкции исполнительного органа.

Механический анализ включает в себя [2]:

• создание математической конечно-элементной модели конструкции прибора (трехмерная геометрическая модель, конечно-элементная модель, модель механического поведения материалов, из которых изготовлены элементы конструкции);

• непосредственно проведение механического анализа, который включает в себя определение собственных частот и форм колебаний, расчет критических случаев нагружения, анализ механического поведения элементов конструкции.

Первым этапом работы является создание трехмерной геометрической модели корпуса ИО.

В настоящее время для достижения данной цели широко используют компьютерные технологии, такие как T-FLEX, Auto Cad, Ansys и др.

На втором этапе при создании конечно-элементной модели конструкция представляется в виде совокупности конечных элементов. Математические задачи о деформации тела под воздействием механических нагрузок, синусоидальных нагрузок, об определении частот собственных ко-

лебаний и т.п. решаются на основе дискретного представления тела с помощью конечных элементов. Получаемые численные решения зависят оттого, насколько адекватно выполнено представление тела конечными элементами.

При выполнении механического анализа будет проведен анализ сходимости численных результатов при различных способах представления элементов конструкций в виде конечных элементов. «Истинным» считается результат, соответствующий конечно-элементной модели с максимальным числом конечных элементов, уменьшение которого приводит к изменению основных значений расчетных параметров не более чем на 1…2 %.

Третий этап – это создание модели механического поведения материалов, из которых изготовлены элементы конструкции.

Первой и основной процедурой механического анализа, без которой невозможно проведение других видов анализа, является модальный анализ, который предназначен для определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкций. Знание собственных частот необходимо при конструировании деталей и узлов, чтобы избежать их возбуждения на одной из собственных частот в процессе эксплуатации.

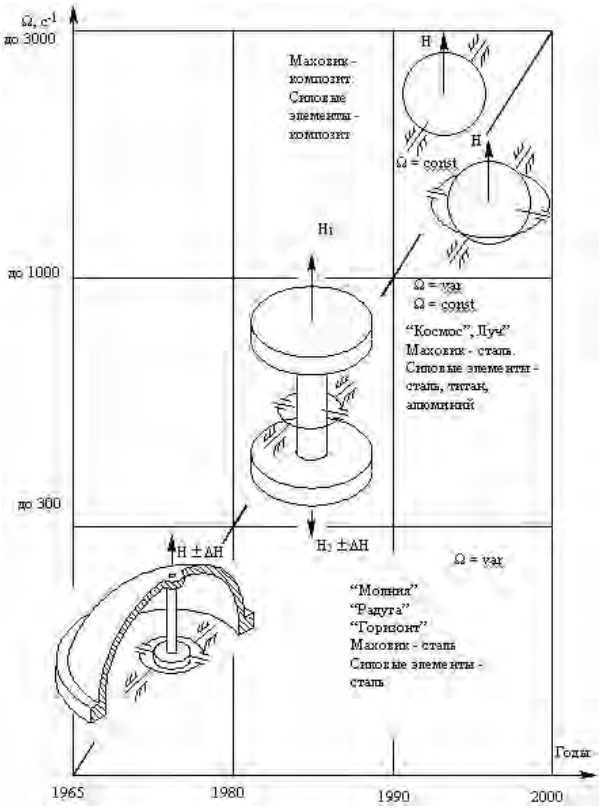


Рис. 2. Тенденции в развитии конструкторско-кинематических схем ИО на основе силовых гироскопов

В настоящее время провидятся также статистический и динамический анализы корпуса.

Статический анализ позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил.

Основными результатами статического анализа являются: поля перемещений конструкции в расчётных точках конечно-элементной сетки; поля относительных деформаций; поля компонентов напряжений; энергия деформаций; узловые усилия; поля распределения коэффициента запаса по напряжениям по объёму конструкции.

Динамический анализ позволяет осуществлять анализ траекторий движения, скоростей, ускорения любых точек компонентов механической системы под действием сил; анализ временных характеристик механической системы; анализ сил, возникающих в компонентах механической системы в процессе движения.

Исходя из разнообразия кинематических схем ИО, определилось три основных конфигурации: в виде кольца, а также в форме замкнутого и разомкнутого кронштейна (рис. 2).

Результаты, полученные в процессе анализов, позволяют прогнозировать поведение конструкции в условиях эксплуатации, т.е. принять наилучшее техническое решение, из результатов многопараметрического проектирования.

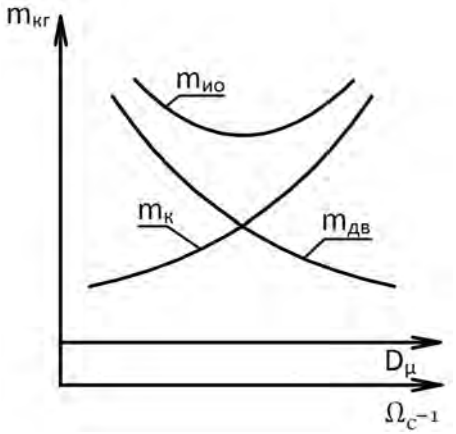


Рис. 3. Результаты оптимизации массы исполнительного органа: $m_{ИО}$ – масса исполнительного органа; $m_{ДВ}$ – масса двигателя – маховика; $m_К$ – масса корпуса

Список литературы

1. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск, 2000.
2. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Скрипняк В.А. Механический анализ исполнительного органа космического аппарата / Известия Томского политехнического университета. – № 4. – Т. 308, 2005. – С. 135–139.
3. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Наука, 1974.

РАДИАЦИОННЫЙ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Кноль А.А., Москалев Ю.А.

Научный руководитель: Кулешов В.К., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050,Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Grafknoll@mail.ru

Одной из главных технических и социальных задач, неразрушающего контроля (НК) является замена ручного труда оператора механизированным и автоматизированным оборудованием. При строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов одной из проблем является достаточно трудоемкий процесс контроля качества сварных швов трубопроводов, а так же низкий уровень безопасности оператора и низкая производительность контроля.

В настоящие время, широкое применения в дефектоскопии нашел радиационный метод контроля. Этот метод обладает, высокой чувствительностью НК контроля, производительностью, а так же позволяет в реальном масштабе времени наблюдать просвечиваемый объект контроля и способен полностью автоматизировать контроль сварных соединений магистральных трубопроводов. Радиационный метод контроля качества изделий, основан на просвечивании контролируемых объектов рентгеновским излучением и преобразованием радиационного изображения объекта контроля в цифровое изображение. С последующей передачей изображения на расстояние с помощью электронной техники для анализа и цифровой обработки оператором. Цифровая обработка позволяет улучшить качество изображения и способствует более точному анализу выявляемого дефекта. Преимущество цифрового хранения информации состоит в том, что даже после длительного хранения сохраняется первоначальное качество изображения.

НИИ Интроскопии Томского политехнического университета разрабатывает радиационный дефектоскопический комплекс (РДСК), предназначенный для оперативного контроля качества и технической диагностики основной номенклатуры особо ответственных объектов нефтегазодобывающей отрасли. РДСК позволяет непосредственно на месте проведения сварочных работ обнаруживать дефекты, отмечать их местоположении и производить повторный контроль после ремонта и восстановления трубопровода. Дефектоскопический комплекс представляет собой автоматическую рентгенотелевизионную установку, смонтированную на базе автомобиля. Установка состоит из четырех основных частей: источник рентгеновского излучения (рис. 1); выносного рентгеночувствительного блока (рис. 2); блока визуализации, управления и хранения изображений (рис. 3); механизма крепления и перемещения рентгенотелевизионной установки.



Рис. 1. Рентгеновский аппарат РАП-300-5



Рис. 2. Радиационный интроскоп РИН-200



Рис. 3. Блок визуализации рентгеновского изображения

Механизм крепления и перемещения (МКП) рентгенотелевизионной установки представляет собой металлическую конструкцию, оснащенную автоматизированной системой перемещения и датчиками контроля места положения. МКП на данный момент находится в разработке НИИ Интроскопии.

Подобных МКП на данный момент не существует, аналогов в мире нет. По этому, требуется более точный конструкторский анализ. Можно сказать, что универсальный МКП будет представлять собой два отдельных блока с мощными магнитами, способные крепится к металлической поверхности. На блоке номер один закрепляется источник излучения (рис. №1), блок номер два имеет приемник излучения (рис. №2). Синхронность движения осуществляется с помощью шаговых двигателей, управление ведется с ноутбука расположенного в автомобиле. Разрабатываемый универсальный МКП позволяет вести НК сварочных соединений магистральных трубопроводов диаметром от 430 мм до 1420 мм, а также сварочные соединения с двух сторонним доступом. Например, РВС.

Принцип работы дефектоскопического комплекса основан на преобразовании энергии тормозного излучения через объект контроля в видимое изображение наблюдаемое оператором на экране монитора ЭВМ. Просвечивание сварного шва магистрального трубопровода происходит в пошаговом автоматическом режиме. РДСК крепится на магистральный трубопровод диаметром от 430 мм до 1420 мм, после чего в автоматическом режиме начинает, перемешается вдоль магистрального трубопровода, от одного сварочного шва к другому, ведя при этом полный контроль длинны сварочного соединения. Изображение сварного соединения наблюдается в реальном масштабе времени оператором на экране монитора, при этом оператор производит визуальный анализ изображения сварного шва и делается заключение о его качестве. Время экспозиции составляет от 5 до 15 секунд, размер экспозиций 200 мм, количество экспозиций соответствует диаметру магистрального трубопровода. Визуализацию в реальном масштабе времени позволят проводить специальная компьютерная программа. Программа разработана в НИИ Интроскопии и предназначена для цифровой обработки, монтажа, вывода на печать и т. д. рентгеновского изображения сварочного шва. Дефектоскопический комплекс позволяет выявлять трещины, раковины, поры, металлические и неметаллические включения, непровары, а также другие неоднородности сварочного соединения магистрального трубопровода.



Рис. 4. Принцип действия РДСК

На рис. 4 изображен универсальный ДСК в блоках, он же поясняет принцип работы и область применения.

ДСК позволяет сэкономить денежные средства на неразрушающем контроле магистральных трубопроводов. Главная техническая и социальная задача, дефектоскопического комплекса является замена ручного труда оператора механизированным и автоматизированным оборудованием. Основная цель ДСК увеличение производительности труда, повышение безопасности оператора, а также уменьшение денежных затрат на ведение неразрушающего контроля сварных швов магистральных трубопроводов. Окупаемость ДСК зависит, от диаметра и длины магистрального трубопровода. Разрабатываемый дефектоскопический комплекс используется в полевых условиях и работает в диапазоне температур от – 40 до + 40 ° С.

Список литературы

1. C l l f f B u e n o and M a r l o n D. B a k e r. High-resolution digital radiography and three-dimensional computed tomography
2. V.L. C h a k h l o v, Ju. A. M o s k a l y o v, S. V. G r i g o r y e v. «System of digital radiography for nondestructive testing in the radiation energy range of 0.01–20 MeV». The Third international symposium «Application of the conversion research result for international cooperation» Sibconvers'99 Tomsk, Russia.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В Клюев. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2003. – 168 с.
4. В мире неразрушающего контроля: Журнал №3 [29], Сентябрь 2008.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СНЯТИЯ ЗОНДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ковальский С.С., Лопатин И.В., Яковлев В.В.

Научный руководитель: Коваль Н.Н., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: SKov@sibmail.com

В настоящее время существует множество методов экспериментального исследования плазмы (СВЧ-диагностика, пассивная и активная корпускулярная диагностика, диагностика флуктуаций плотности плазмы по рассеянию электромагнитного излучения, зондовый метод исследования плазмы). Одним из важнейших является зондовый метод, в связи с большим объемом получаемой информации и относительно простой конструкцией зондов. Впервые данный метод стал применять Ленгмюр в 1924 г. [1].

В данном методе измеряется зависимость тока зонда от приложенного к нему напряжения, т.е. измеряется вольт-амперная характеристика зонда [2].

Зондовые характеристики широко используются для измерения параметров околоземной плазмы, плазмы газовых разрядов, периферийной плазмы крупных токамаков и т. д. [3].

В настоящее время, несмотря на широкое распространение цифровой техники, снятие вольт-амперной характеристики производится, как правило, либо с помощью стрелочных приборов (или цифровых мультиметров), либо с помощью осциллографов. Однако использование данных приборов может дать некорректный результат, т. к. стрелочные приборы (как и цифровые мультиметры) измеряют действующее напряжение, и при наличии переменной составляющей данные окажутся неверными. Также скорость получения данных при использовании этих приборов мала, и параметры плазмы могут измениться, что неизбежно приведет к неверному результату. При использовании универсальных осциллографов не получается достигнуть необходимой точности измерений в местах характерных перегибов вольт-амперной характеристики.

Для измерения мгновенных значений тока и напряжения зонда разработана измерительная система, при проектировании которой были устранены указанные недостатки. Характеристики системы:

- одновременное измерение мгновенных значений напряжения и тока зонда;
- диапазон входных напряжений –310..+310 В;
- диапазон входных токов –300..+300 мА;
- разрешающая способность – 14 бит;
- наличие цифровых интерфейсов RS232 и RS485;
- регулируемое количество снимаемых точек;
- наличие входа внешней синхронизации, регулируемое время задержки между импульсом синхронизации и моментом измерения.

Блок-схема системы приведена на рис. 1. Точность измерения в идеальном случае зависит только от разрешения аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Поэтому для достижения максимальной точности необходимо, чтобы амплитуда сигнала соответствовала максимально возможной амплитуде на входе АЦП. В этом случае ошибка измерения сводится к ошибке квантования. Также необходимо, чтобы измерительные цепи вносили как можно меньше искажений в эксперимент. Для удовлетворения данных требований в схему был включен делитель, обеспечивающий необходимое ослабление сигнала по каналу напряжения, и шунт с прецизионным усилителем.

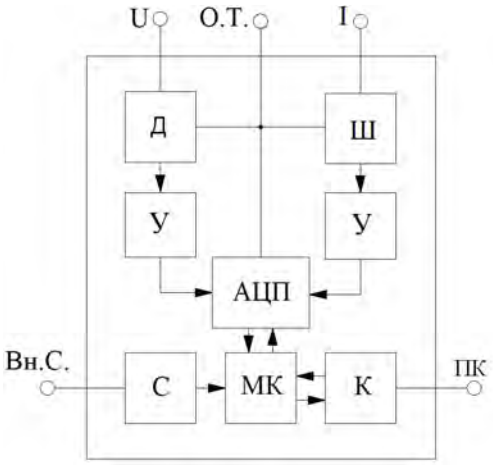


Рис. 1. Блок схема измерительной системы: U – канал измерения напряжения, I – канал измерения тока, О.Т. – общая точка, относительно которой производится измерения, Д – делитель, Ш – токовый шунт, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МК-микроконтроллер, С – блок синхронизации, К – конвертор, Вн.С. – внешняя синхронизация, ПК–порт для подключения к персональному компьютеру, У – усилитель мощности

Основным элементом, определяющим точность и быстродействие системы, является АЦП и канал передачи данных. В системе использован двухканальный последовательно-параллельный 14-разрядный АЦП с параллельным интерфейсом, обеспечивающий 175 тысяч выборок в секунду. Микроконтроллер управляет системой в соответствии с установленными параметрами, обеспечивая необходимую задержку срабатывания, временное хранение информации и передачу данных в персональный компьютер (ПК). В ПК данные передаются в программу Microsoft Excel для дальнейшей обработки.

Блок синхронизации обеспечивает синхронизацию системы с сетью (50Гц относительно нулевого уровня), что необходимо при работе с диодными (либо тиристорными) источниками питания разряда, имеющими, как правило, значительные пульсации напряжения на выходе. Также существует возможность подключения внешнего синхронизирующего сигнала, что бывает необходимо для работы в импульсных системах.

Конвертор необходим для преобразования уровней сигналов микроконтроллера в уровни сигналов интерфейсов RS-232 и RS-485, а также для обеспечения гальванической развязки с ПК, т. к. измерительная система может работать под потенциалом, отличным от потенциала «земли».

Всю информацию, необходимую для настройки системы, микроконтроллер получает от ПК. Для обеспечения необходимой точности схема была откалибрована с помощью резистора.

Данная система была испытана для определения параметров несамостоятельного тлеющего разряда в газоразрядной системе с полым катодом.

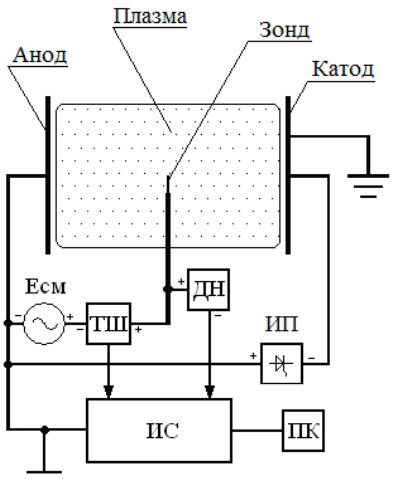


Рис. 2. Схема эксперимента:
ИП – источник питания разряда, ИС – измерительная система, Есм – источник напряжения смещения на зонде, ДН – делитель напряжения, ТШ – токовый шунт, ПК – персональный компьютер

Упрощенная схема эксперимента показана на рис. 2. Для эксперимента был выбран цилиндрический зонд Ленгмюра. Источник питания разряда – 3-фазный тиристорный преобразователь напряжения. Из-за значительных пульсаций напряжения разряда была введена синхронизация от источника питания разряда. В качестве источника смещения был выбран лабораторный автотрансформатор. Измерительная система подключена относительно анода, при необходимости ее можно подключать относительно катода. В данном эксперименте диапазон для измеряемого тока был установлен в пределах от –100 мА до +100 мА, диапазон измеряемого напряжения от –150 В до +150 В.

Зондовая характеристика, полученная с помощью описываемой системы и построенная в программе Microsoft Excel, приведена на рис. 3.

Параметры разряда:

- действующее напряжение разряда 370 В.
- действующий ток разряда 30 А

После математической обработки были получены параметры плазмы, показанные в табл. 1.

На графике (рис. 3) показано около 3000 измерений, снятых в одном цикле (около 60 секунд). Схема имеет достаточно высокое быстродействие, позволяющее производить измерения флуктуаций, связанные с физическими особенностями существования разряда. За время полного снятия зондовой характеристики макропараметры разрядной системы практически не изменяются, как это было при неавтоматическом снятии зависимости (затрачивалось время до 1 часа). Вид характеристики соответствует теоретическому.

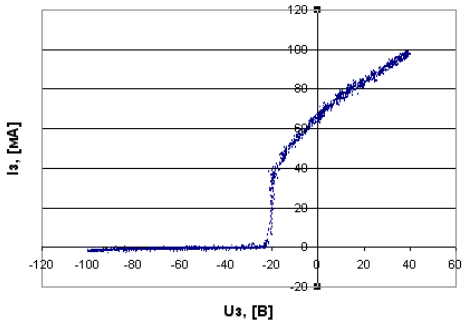


Рис. 3. Зондовая характеристика несамостоятельного тлеющего разряда:
Iз – ток через зонд,
Uз – напряжение на зонде

Таблица 1

Параметры плазмы

Плавающий потенциал, [В]	Потенциал плазмы, [В]	Температура электронов, [эВ]
–22,9	–19,9	1,5

Заметна некоторая неравномерность плотности распределения измерений. Для исправления данного недостатка нужно использовать источник линейно изменяющегося напряжения, либо источник, позволяющий изменять напряжение синхронно с производимыми измерениями. Однако было выявлено, что большинство регулируемых источников постоянного напряжения сильно искажают сигнал, приходящий с зонда, что делает их непригодными для использования в данной системе.

В процессе исследований было установлено, что использовать лабораторный автотрансформатор возможно только в тех случаях, когда плазма стационарна, либо если ее параметры изменяются синхронно с сетью. Оптимальным же является создание специализированного источника для снятия зависимостей, управляемого измерительной системой.

Дальнейшая модификация системы позволит автоматизировать анализ зондовых характеристик вплоть до автоматического вычисления основных параметров плазмы (температура электронов, потенциал плазмы и плавающий потенциал). Это

предполагает разработку соответствующего программного обеспечения как для ИС, так и для ПК.

В настоящее время проводится анализ полученных данных и сопоставление их с полученными ранее для данной системы с использованием стрелочных приборов, отображающих действующее напряжение. Разработанная схема будет использована и в других экспериментах по измерению параметров низкотемпературной плазмы.

Список литературы

1. Langmuir J. and Mott-Smith H. // Gen. Electr. Rev. 1924. Vol. 27. P. 449.
2. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. – М: Атомиздат, 1963. – 288 с.
3. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г. Экспериментальные методы диагностики плазмы: лекции для студентов физического факультета. – Ч. 1 – Новосибирск: НГУ, 1999. – 148 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕНИТНОГО УГЛА И АЗИМУТА ПЛОСКОСТИ НАКЛОНЕНИЯ СКВАЖИНЫ

Коршунов А.В.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: megatnc@sibmail.com

Координаты оси буровой скважины определяются, как правило, в горизонтальной, географически ориентированной системе координат с началом в устье скважины путем интегрирования соответствующих приращений по длине скважины. При этом точность конечного результата зависит от точности определения зенитного угла, азимута плоскости наклонения касательной к оси скважины и удаления точки измерения от устья скважины. Зенитный угол и азимут измеряются с помощью инклинометров. Они бывают магнитные и гироскопические. Скважинный прибор инклинометра (СП) перемещается в скважине непрерывно или дискретно. При этом предполагается, что продольная ось СП совпадает с направлением касательной к оси скважины. Однако на практике в общем случае продольная ось СП не совпадает с направлением касательной к оси скважины и не параллельна ей. Ниже рассматривается влияние указанных факторов на точность определения зенитного угла и азимута плоскости наклонения касательной к оси скважины.

На рис. 1 СП представлен прямым круглым цилиндром диаметром d и длинной 1. СП помещен в скважину. Кривизна скважины на рассматриваемом интервале принимается пренебрежимо малой, с учетом этого внутренняя поверхность скважины в дальнейшем принимается за поверхность круглого цилиндра диаметром D [1].

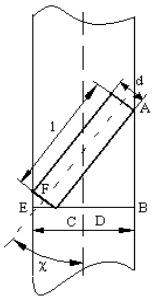


Рис. 1. СП в скважине

Из треугольника ABC имеем $\sin\chi = \frac{BC}{AC}$..

Выразим отрезок BC следующим образом: $BC = EB - EC = D - d\cos\chi$.

В итоге

$$\sin\chi = \frac{D - d\cos\chi}{1}. \qquad (1)$$

Решив тригонометрическое уравнение (1) относительно угла χ, получим

$$\chi = \frac{\arcsin D}{\sqrt{1^2 + d^2}} - \operatorname{arctg}\frac{d}{1}. \qquad (2)$$

Если 1>>D, 1>>d, то вместо формулы (2) можно пользоваться приближенной формулой

$$\chi = \frac{D - d}{1}, \qquad (3)$$

дающей значение угла χ в радианах. Выражения (2), (3) определяют максимально возможное значение угла рассогласования оси скважины диаметром D и оси СП наружным диаметром d и длиной 1, погруженного в скважину. Для уменьшения указанных погрешностей применяют центраторы, обеспечивающие достаточно близкое совпадение продольной оси СП и касательной к оси скважины. Но центраторы обладают рядом недостатков: время исследования скважины увеличивается в несколько раз т. к. центраторы контактируют со стенкой скважины, должна быть большая разница диаметров СП и скважины, что в некоторых случаях невозможно. Обойтись без центраторов можно в том случае, если в каждый момент времени знать, как расположен СП относительно обсадной колонны, и вносить коррективы в окончательный результат измерений. Для этого поставим датчики расстояний на наконечник и головку СП. Датчики расстояний будут в каждый момент времени снимать информацию о том, как СП расположен относительно обсадной колонны, зная эту информацию вносим коррективы в результат измерения СП по алгоритму изложенному ниже.

Рассмотрим положение центра O_1 сечения наконечника скважинного прибора в системе координат, связанной с центром О сечения скважины. Оси указанной системы координат направлены следующим образом: OZ – по направлению оси скважины и вниз: OX – лежит в вертикальной плоскости (плоскости наклонения скважины), OY – образует с упомянутыми осями правую систему координат. Предполагаем, что рассматриваемый участок скважины представлен в виде цилиндра, т.е. пренебрегаем искривлением скважины. На рис. 2 представлена плоскость сечения скважины, ось OZ направлена перпендикулярно плоскости чертежа вверх. В дальнейшем считаем, что поперечные сечения скважины, наконечника и головки скважинного прибора имеют форму круга.

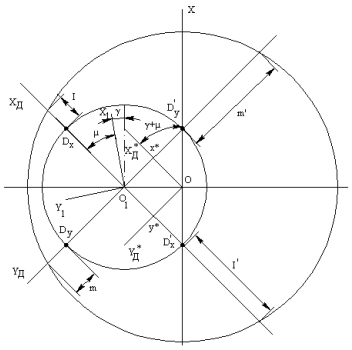


Рис. 2 Плоскость сечения скважины

На рис. 2 точка O_1 – центр сечения наконечника скважинного прибора. Оси O_1X_1, связаны со скважинным прибором. Угол γ, на который повернуты оси O_1X_1 и O_1Y_1 относительно осей, связанных со скважиной, представляет собой апсидальный угол СП. Кроме того введена система координат $O_1X_ДY_ДZ_Д$, связанная с модулем датчиков D_X, D_Y, D'_X, D'_Y, определяющих расстояния (I, m, I', m') от корпуса наконечника СП до стенок скважины. Оси $O_1X_Д$ и $O_1Y_Д$ лежат в плоскости сечения наконечника СП и совпадают соответственно с осями чувствительности дифференциально включенных датчиков расстояний (D_X – D_X') и (D_Y – D_Y'). Угол μ между осями O_1X_1 и $O_1X_Д$, O_1Y_1 и $O_1Y_Д$ представляет собой угол установки модуля датчиков расстояния. Этот угол зависит от характера сочленения наконечника и корпуса СП; его необходимо определять на специальном стенде каждый раз после сборки СП. Нетрудно показать, что положение центра O_1 – сечение наконечника СП в системе координат $OX^*_ДY^*_Д$, полученной путем параллельного переноса системы координат $OX_ДY_Д$ в центр сечения скважины О, определится следующим образом:

$$x^* = -\frac{I - I'}{2};\ \ y^* = \frac{m - m'}{2}. \qquad (4)$$

Затем, используя формулы преобразования координат при повороте осей, получим координаты центра O_1 сечения наконечника СП в системе координат OXY, связанной со скважиной:

$$\begin{aligned} x &= x^*\cos(\gamma+\mu) - y^*\sin(\gamma+\mu) = \\ &= -\frac{I - I'}{2}\cos(\gamma+\mu) + \frac{m - m'}{2}\sin(\gamma+\mu); \\ x &= x^*\sin(\gamma+\mu) - y^*\cos(\gamma+\mu) = \\ &= -\frac{I - I'}{2}\sin(\gamma+\mu) - \frac{m - m'}{2}\sin(\gamma+\mu). \end{aligned} \qquad (5)$$

Аналогичным образом определяются координаты центра O_2 сечения головки скважинного прибора в случае, если центр этого сечения не лежит на оси скважины.

Спроектируем точки центров сечений наконечника O_1 и головки O_2 скважинного прибора на плоскость сечения скважины OXY (рис. 3).

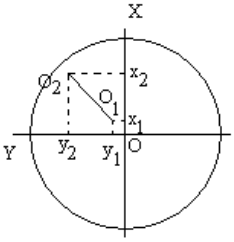


Рис. 3 Проекции точек центров сечений наконечника и головки СП

Угол χ отклонения продольной оси скважинного прибора от направления, параллельного оси скважины, рассчитывается по выражению [2]

$$\chi = \arcsin\frac{0_1 0_2}{L} = \arcsin\frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{L} \approx \qquad (6)$$
$$\approx \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{L},$$

где x_1, y_1, x_2, y_2 – координаты проекций центров сечений наконечника и головки СП.

Учитывая (4) и то, что

$$\sin\psi = \frac{y_2 - y_1}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2};$$

$$\cos\psi = \frac{x_2 - x_1}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$

получаем фактические параметры положения оси скважины – ее зенитный угол и азимут плоскости наклонения

$$\beta = \beta' - \frac{x_2 - x_1}{L};\ \alpha = \alpha' - \frac{y_2 - y_1}{L\sin\beta}. \qquad (7)$$

В дальнейшем предстоит работа по поиску датчиков, способных работать в агрессивных условиях скважины, и проектирование конструкции указанного прибора.

Список литературы

1. Белянин Л.Н. О влиянии геометрических погрешностей установки измерительного блока СП инклинометра и устройств центрирования на точность определения инклинометрических параметров скважины. Т. 2. СБ ОАО НПФ «Геофит» ВНК. – Томск: Изд-во Томского университета 2000–2003. – С. 64–69.
2. Белянин Л.Н., Мартемьянов В.М., Голиков А.Н., Плотников И.А. Способ определения зенитного угла и азимута плоскости наклонения скважины и устройство для его осуществления. Патент № 2165524.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ПРИВОДОМ

Краюхин А.С.

Научный руководитель: Голиков А. Н. ст. преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: qsf_alex_@mail.ru

В автоматизированном сборочном производстве постоянно возникает необходимость в быстром и точном перемещении небольших масс на требуемое расстояние.

Для этих целей широко применяются роботы с электромеханическими приводами, обеспечивающие точное перемещение и способные к обучению сложным операциям.

Электромеханические приводы – наиболее распространенный тип приводов. Они имеют относительно высокую удельную мощность, высокое быстродействие, удобны в эксплуатации. Такие устройства способны обеспечить угловое перемещение со скоростью 120–150 °/с.

Подобными характеристиками обладают и роботы с гидроприводом, но наиболее сложные движения типичны именно для электромеханических моделей роботов.

Существует большое многообразие конструкций электромеханических роботов, среди которых можно выделить разработку университета Миннесоты, построенную на основе четырех плечевого соединения с непосредственным приводом (рис. 1). Максимальная скорость 150°/с. Статическая нагрузка модуля приближена к нулю. Из-за исключения смещения центра масс может быть достигнута большая точность и повторяемость при выполнении конечных задач манипулирования.

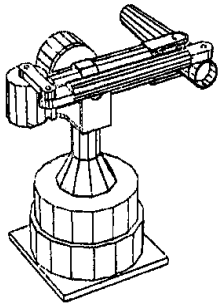


Рис. 1. Конструкция робота с непосредственным приводом, предложенная университетом Миннесоты

Работы по исследованию и разработке малогабаритного электромеханического модуля с непосредственными приводами для робототехнических целей проводятся и в Томском политехническом университете. В структуре данного модуля присутствует носитель кинетического момента, что вносит существенное влияние на динамику и характер траекторий движения звеньев такой механической системы.

Принципиальная структурная схема варианта данного устройства представлена на рис. 2.

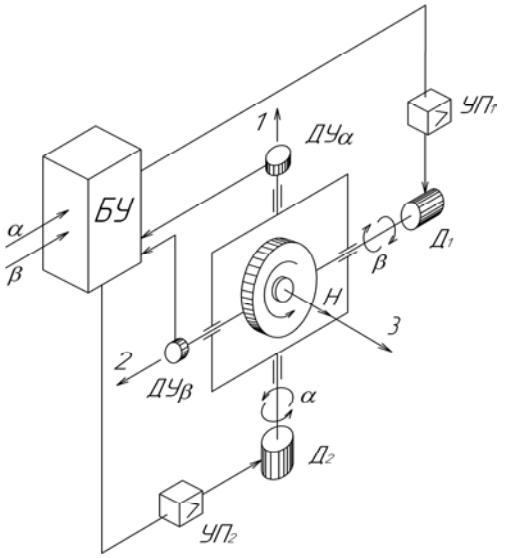


Рис. 2. Принципиальная структурная схема варианта устройства

Устройство является управляемым гироскопом в карданном подвесе с тремя степенями свободы. На внешней и внутренней оси подвеса находятся по одному моментному электродвигателю ($Д_1$, $Д_2$) и датчику угла ($ДУ_\alpha$, $ДУ_\beta$). При работе системы сигнал о необходимом угле поворота задается в блоке управления (*БУ*), где формируется управляющий сигнал. Далее, в усилителе ($У_1$, $У_2$) управляющий сигнал усиливается и подается на моментные двигатели.

Данная схема является структурно неустойчивой, так как она подвержена возникновению автоколебаний. Решением этой проблемы является использование по внутренней и внешней осям демпфирующих устройств или фиксаторов.

Принципы движения такой системы базируются на основных свойствах гироскопа [2].

При управлении гироскоп участвует в двух движениях: прецессионном и нутационном.

Одним из факторов, влияющих на точность и быстродействие устройства, являются нутационные колебания системы. Нутационные колебания в зависимости от управляющих воздействий и моментов инерции гироскопа вокруг осей гироскопических приборов оказывают влияния на показания датчиков и ошибки передаваемых сигналов. Поэтому при управлении такой системой

нужно создать такое воздействие, которое обеспечило бы отработку задаваемых координат в бесколебательном движении. Прецессионный режим, удобен для больших угловых перемещений вокруг двух осей. Возможен вариант управления короткими шаговыми угловыми перемещениями. То есть этот вариант управления позволяет осуществлять шаговые перемещения главной оси гироскопа в двух координатах.

Условия формирования управляющих моментов в этом случае с получением шагового бесколебательного движения приведены в [1].

В частном случае, когда на гироскоп с тремя степенями свободы действует внешняя сила, создающая момент вокруг внутренней оси подвеса уравнения движения примут вид:

$$J_B \cdot \ddot{\beta} + H \cdot \cos\beta_0 \cdot \dot{\alpha} = M_B,$$

$$J_C \cdot \ddot{\alpha} - H \cdot \cos\beta_0 \cdot \dot{\beta} = 0,$$

где, J_B – момент инерции гироскопа относительно внутренней оси подвеса; J_C – момент инерции гироскопа относительно наружной оси подвеса, когда плоскости рамок перпендикулярны между собой; H – кинетический момент гироскопа; $\dot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \dot{\beta}, \ddot{\beta}$ – угловые скорости, и ускорения поворотов гироскопа соответственно вокруг наружной и внутренней осей карданова подвеса; β_0 – угол неперпендикулярности рамок карданова подвеса; M_B – управляющий момент внешних сил, функция которого имеет следующий вид:

$$M_B = \begin{cases} M_U \ при \ 0 < t < t_1; \\ 0 \ при \ t < 0, t > t_1. \end{cases}$$

Выражения для углов в общем виде будут иметь вид:

$$\beta = \frac{2M_U}{J_B n^2} \sin\varphi_1 \sin(nt - \varphi_1),$$

$$\alpha = \frac{2M_U}{H}\left[t_1 - \frac{1}{n}\sin\varphi_1 \cos(nt - \varphi_1) \right],$$

где, $\varphi_1 = nt_1 / 2$; n – частота нутационных колебаний.

Условием бесколебательного шагового движения будет являться формирование управляющего сигнала с зависимостью $t_1 = T$, где $T = 2\pi/n$ – период нутационных колебаний гироскопа.

Таким образом, в режиме нутационных колебаний формирование управляющего момента производится в импульсном режиме. Величина шага будет пропорциональна величине управляющего момента, а суммарная координата перемещения будет определяться количеством шагов.

Воздействие на систему управляющим моментом формируется в *БУ*, состоящем из цифровой вычислительной машины или устройства дискретного действия (рис. 3). Действие управляющего момента должно происходить в соответствии с условиями бесколебательного шагового движения.

В обоих способах управления из-за появления дополнительных перекрестных связей будут возникать погрешности позиционирования. Для устранения этих погрешностей необходимо провести исследования характера движения такой системы, выявить все зависимости появления воздействующих факторов и создать такую систему управления, где использовались бы одновременно оба электродвигателя. Первый, будет задавать поворот системы вокруг необходимой оси, а второй компенсировать влияние перекрестной связи и возмущающих моментов по осям подвеса гироскопа, возникающих при работе такой электромеханической системы.

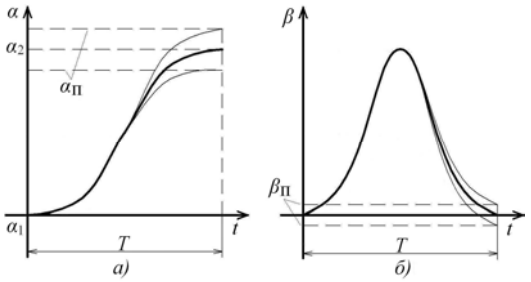


Рис. 3. Графики угловых перемещений при управлении по внутренней оси гироскопа: α_1 – начальный угол оси 1 (рис. 2), α_2 – конечный угол поворота оси 1 (рис. 2), $\alpha_п$, $\beta_п$ – возможные погрешности угла поворота из-за возмущающих моментов

К собственным возмущающим факторам в гироскопических устройствах относят моменты трения в опорных узлах, в контактных группах токопроводящих устройств и в контактных датчиках углов.

Дальнейшие исследования предусматривают решение задач управления электромеханической системой с меняющимися собственными параметрами, например: моментами инерции кардановых рам устройства; проектирование макета для натурного моделирования динамики объекта.

Список литературы

1. Разработка метода уменьшения нутационных колебаний гироскопа при внешних воздействиях момента по оси подвеса. Научный отчет по х/д № 7-25/89 №Г.Р. 0189.0027439. инв. № 0290.0021666 – Томск, ТПИ, 1989. – 43 с. Научный руководитель Копытов В.И.
2. Павлов В. А. Теория гироскопа и гироскопических приборов. – 2-е изд. исправл. и дополн. – Л., 1964.

АТНК ИЗДЕЛИЙ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Куликова И.В.

Научный руководитель: Ширяев В. В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина, 30
e-mail: sku4ajka@mail.ru

В данной работе я рассматриваю изделия с конической и цилиндрической поверхностью, в частности изделия из углепластика и стеклопластика. Процедура неразрушающего контроля включает в себя две операции: воздействие на контролируемый объект и регистрацию его отклика на воздействие. Применительно к АТНК (Активному тепловому неразрушающему контролю) это соответствует операциям нагрева (охлаждения) объектом контроля и регистрации температурного поля на поверхности объекта контроля. Изделия из углепластика и стеклопластика хорошо поддаются АТНК, так как коэффициент излучения материалов в инфракрасном диапазоне ≈ 1, следовательно, их можно рассматривать как черные тела. Углепластики используются вместо металлов во многих изделиях – от частей космических кораблей до удочек:

- ракетно-космическая техника;
- авиатехника (самолётостроение, вертолётостроение);
- судостроение (корабли, спортивное судостроение);
- автомобилестроение (спортивные автомобили, мотоциклы;
- усиление железобетонных конструкций;
- спортивный инвентарь (велосипеды, хоккейные клюшки, лыжный спорт (лыжи, палки, ботинки), лезвия коньков, стрелы, оборудование виндсерфинга);
- медицинская техника;
- рыболовные снасти (удилища);
- бытовая техника (отделка корпусов телефонов, ноутбуков и пр.).

Композиционные материалы на основе углеродных волокон наряду с применением их в авиационной технике эффективно используются в конструкциях космических летательных аппаратов. Это обусловлено тем, что они обладают сравнительно низкой плотностью. Их высокая стоимость в этом случае не является сдерживающим фактором, так как масштабы применения углепластиков в рассматриваемой области техники не столь велики. Считается, что количество углеродных волокон, используемое в этой области, составляет приблизительно 10% объема их производства. Однако точно оценить эту величину нельзя, так как данная область применения композиционных материалов на основе углеродных волокон почти всегда связана с самыми совершенными технологиями, имеющими оборонное значение и засекреченными.

Общеизвестно, что благодаря высокой удельной прочности и удельной жесткости композиционные материалы, армированные углеродными волокнами, широко применяются в качестве основных конструкционных материалов в самолетостроении. Высокие механические характеристики углеродных волокон позволяют получать высококачественные материалы – углепластики.

Масса самолета без топлива и коммерческой нагрузки примерно в два раза меньше массы снаряженного самолета, в том числе около 30% приходится на различные конструкции планера. Снижение веса этих конструкций благодаря использованию современных материалов позволяет уменьшить габариты двигателя и т. д. и приводит к снижению расхода горючего. Снижение массы конструкционных материалов всего на 1 кг приводит к снижению общей массы самолета на 3–7 кг. Использование композиционных материалов в производстве самолетов позволяет также снизить их общую стоимость и гибко варьировать условия проектирования.

В военной промышленности разработка и применение композиционных материалов на основе углеродных волокон в основном направлена на создание военных самолетов. Сведений о применении углепластиков в производстве другой военной техники очень мало вследствие засекречивания проводимых работ.

При контроле изделия с цилиндрической поверхностью необходимо учитывать артефакты, возникающие из-за отражения постороннего теплового излучения, геометрического искажения проекций внутренних дефектов, так же связанных с кривизной поверхности.

С другой стороны нужно отметить, что при малом температурном контрасте криволинейность поверхности скрадывается за счет переотражения переизлучения внешних источников.

А также можно рассчитать участок на объекте контроля, где мы можем пренебречь цилиндричностью поверхности.

Когда $\sin\alpha \approx \alpha$, а это равенство выполняется при $\sin 0.1 \approx 0{,}1$. 0,1 рад = 5,7°, где α – это угол наклона поверхности. После геометрических преобразований можно вычислить, что, $r_0 = R \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1-\cos\beta} \approx 0{,}2R$, где r_0 – это линия видимости без учета кривизны, R – это радиус объекта контроля, $\beta = 90 - \alpha$. Следовательно, можно дать следующие рекомендации: чем мень-

ше радиус объекта контроля, тем меньше должно быть расстояние от объекта контроля до тепловизора, но не менее 50 см.

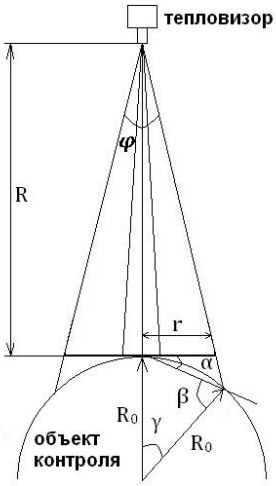


Рис. 1. Схема установки

Если контролируемый объект разместить под углом 0 °, то дефект виден полностью.

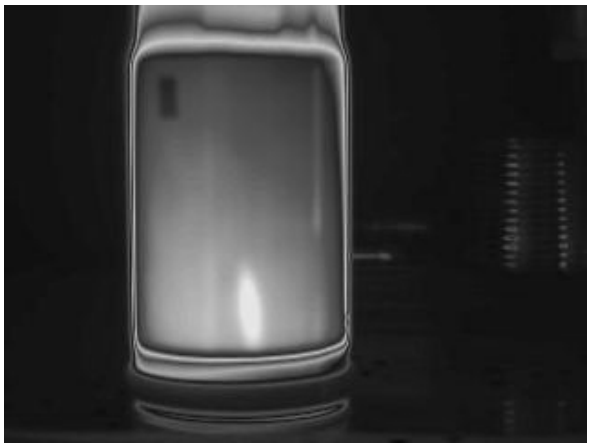


Рис. 2. Утонение цилиндрической поверхности

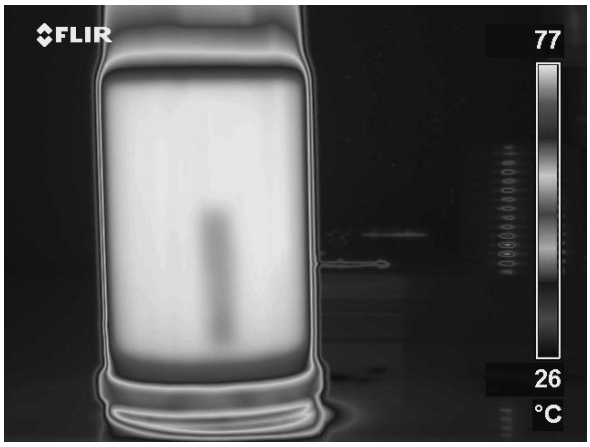


Рис. 3. Утолщение цилиндрической поверхности

Если контролируемый объект установить под углом 45º, то можно судить только о наличие дефекта в объекте, но ничего не будет известно о его геометрических размерах.



Рис. 4. Угол 45º по отношению к утолщению

Если объект расположить под углом 90º к дефекту, то ничего не будет видно, так как дефекты будут находиться по краям. А на краях присутствует шумовая температура 0,6º.



Рис. 5. Угол 90º к дефектам

Так как температура на дефектной и бездефектной области различна, то между ними есть соотношение. Если температуру возле дефекта умножить на $\cos\varphi$, то получится температура на краю детали с погрешностью 0,6° (принятой в тепловом контроле). Угол φ – угол наклона поверхности.

	T_1	T_2	T_3
Рис. 3	73.9	76.8	74.0
Рис. 4	76.5	74.3	71.7
		58.9	57.1
Рис. 5	76.9	73.9	73.3
Рис. 2	76.7	76.3	77.0

T_1 – температура дефекта, T_2 – температура над дефектом, T_3 – температура на краю объекта контроля.

Список литературы

1. Справочник Дж. Любина «Композиционные материалы». М., 1988.
2. Справочник Р. Зигель, Дж. Хауэлл «Теплообмен излучением», Издательство «Мир», М., 1975.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ломова О.С., Гриневич В.А.

Научный руководитель: Ломов С.М., к.т.н., доцент

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, проспект Мира, 11
E-mail: thngss@rambler.ru

Улучшение качества выпускаемой продукции машиностроения невозможно достигнуть без повышения точности обработки.

Требуемая точность обработки в условиях серийного и массового производства обычно обеспечивается настройкой станка. Однако при механической обработке возникает ряд погрешностей, источниками которых являются станок, приспособление, инструмент и обрабатываемая деталь.

Причин возникновения погрешностей достаточно много, степень же их влияния различна. Как правило, лишь небольшое число действующих факторов оказывает существенное влияние на выходную величину, – точность обработки. К таким факторам, прежде всего, можно отнести точность станка.

Точность станка, в основном характеризуется точностью геометрической формы поверхностей центров, базирующих заготовку и инструмент, точностью расположения базовых поверхностей относительно друг друга, точностью движения направляющих опор.

Считается, что наиболее существенным фактором, влияющим на точность обработки (размер, форма и расположение поверхностей деталей) является точность расположения центров относительно друг друга. Для обеспечения высокой точности обработки применяют неподвижные центры круглошлифовальных станков – центры упорные с конусностью 1:10 и 1:7. Требования к точности изготовления оговариваются в стандарте ГОСТ 13214-79.

Существуют стандартные методы определения соосности центров при помощи индикатора и центровой оправки. Суть проверки состоит в том, что в отверстия передней бабки и пиноли задней бабки вставляют цилиндрические оправки одинакового диаметра, расстояние между которыми ориентировочно равно наибольшей длин устанавливаемого изделия. Для исключения из результата измерения неточности установки контрольных оправок, измерения производятся дважды, поворачивая оправки на угол 180° вокруг оси. Кроме того, производится проверка параллельности оси отверстия пиноли задней бабки направлению перемещения стола. Отклонение от параллельности оси отверстия пиноли направлению перемещению стола равно алгебраической разности показаний прибора в двух сечениях.

Однако такая проверка не выявляет несовпадение направления перемещения пиноли с центром с осью вращения детали, которая при колебании длин детали и глубины зацентровки приводит к нарушению параллельности оси вращения детали и поверхности режущей кромки шлифовального круга [1].

На рис. 1 представлено разработанное измерительное устройство, позволяющее с высокой точностью измерить положение осей гнезд под центра и в случае нарушения соосности осей гнезд передней и задней бабок, произвести настройку положений бабок [2] с центровыми гнездами, используя разработанное измерительное устройство.

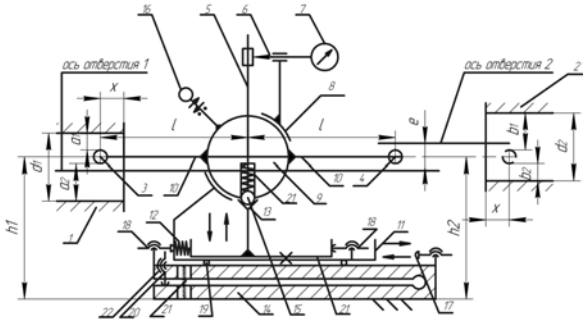
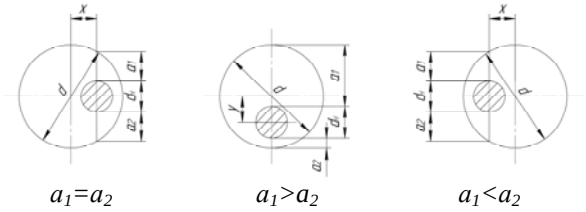


Рис. 1. Измерительное устройство контроля позиционного отклонения поверхностей

Устройство предназначено для измерения отклонения расположений отверстий в бабках 1 и 2. Устройство состоит из основания 14, на котором перемещается каретка 11, перемещающаяся в направляющих до фиксированного положения в горизонтальной плоскости. Перемещение каретки ограничивается регулируемыми упорами 17. На каретку 11 закреплено фиксирующее устройство 13, с помощью которого осуществляется установка измерительных рычагов 10 в вертикальной плоскости на величину h_1 и h_2. Рычаги в исходном положении удерживают фиксатор 13. Перемещая винтом 18, фиксатор 13 регулирует положение измерительных наконечников 3, 4 по высоте и дает возможность выровнять размеры h_1 и h_2. Неизменность положения фиксатора обеспечивают пружины силового замыкания 12, таким образом, осуществляется контакт каретки фиксатора 18 с упором. Поворот рычагов осуществляется шарнирным механизмом 9, расположенным в корпусе 8 устройства. В шарнире 9 жестко закреплены измерительные рычаги 10 и 5. Поворот измерительного рычага 5 фиксируется отсчетным устройством 7 через первичный преобразователь 6. Отсчетное устройство 7 крепится в корпусе 8, закрепленном на каретке 11.

Устройство работает следующим образом.

Измерение отклонения от соосности отверстий d_1 и d_2 состоит в следующем: прибор настраивается с целью обеспечения расположений измерительных наконечников соответствующей h_1 и h_2. Это достигается поворотом шарнира 9 с измерительными рычагами и смещением вертикальной плоскости за счет поворота винта 20. Постоянный контакт при повороте верхней части основания 22 в корпусе 14 осуществляется пружиной 21. Поворачивая шарнир 9 с измерительными рычагами 10, рукояткой 16 добиваемся такого положения, когда отсчетное устройство 7 будет показывать равное перемещение рычага 5 в право и влево, что соответствует расположению измерительного наконечника строго по оси отверстия d_1, то есть $a_1 = a_2$. Из показания размаха отсчетного устройства 7 можно судить совпало ли перемещение измерительного наконечника 3 с вертикальной осью отверстия значение d_1 равно сумме значений $a_1 + a_2 + dн$, то измерительный наконечник расположен по центру отверстия. Если $d_1 < (a_1 + a_2 + dн)$, то в вертикальной плоскости есть смещения наконечника на величину X (рис. 2).



$a_1=a_2$ $a_1>a_2$ $a_1<a_2$

Рис. 2. Схемы определения позиционного отклонения

Для того, чтобы устранить позиционные отклонения поверхностей отверстий d_1 и d_2: например служащими базами в станках приборов (кругломерах, профилографов, профилометров, оптических головках микроскопов и специальных средствах измерений и т. д.) необходимо, пользуясь замерами прибора, привести положение одной из баз с отверстиями до положения, когда показания прибора будет соответствовать выражению d_2= [(b_1 + b_2) + $dн$]. Для определения величины погрешности расположений отверстий (отклонения от соосности), необходимо вычислить значение величины X, что будет соответствовать смещению в горизонтальной плоскости, а в вертикальной смещение равно разности показаний b_1 и b_2. Сравнивая полученные значения с допустимыми, можно сделать вывод о готовности изготовления деталей на данном станке.

Расчетное значение X можно вычислить по формуле:

$$X = \sqrt{\frac{d^2}{4} - \left[\frac{(a_1 + a_2) + d_н}{2}\right]^2}.$$

где X – смещение в горизонтальной плоскости; a_1, a_2 – показания прибора 7; dн – диаметр измерительного наконечника; d – диаметр отверстия в плоскости измерения.

Список литературы

1. Ломов С.М., Ломова О.С., Макаренко В.В., Моргунов А.П. Оценка точности обработки цилиндрических деталей при круглом врезном шлифовании // Технология машиностроения – М, 2006. – №12. – С. 51–54.
2. Ломов С.М., Ломова О.С., Макаренко В.В. Обеспечение точности размеров формы прецензионных деталей при круглом шлифовании в центрах // Технология машиностроения. – М. – 2007. – №2. – С. 14–16.

СИНТЕЗ, ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА С ФУНКЦИЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ПРИМЕНЕНИИ НОВОГО АЛГОРИТМА ДИФФЕРЕНЦИПРВАНИЯ

Майстренко А.В., Старовойтов Н.В.

Томский университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: k@sibmail.com

Как известно [1], ПИД-регулятор – это устройство в цепи обратной связи, используемое в системах автоматического управления для формирования, управляющего сигнала. Из данного понятия непосредственно следует, что без такого рода устройств невозможно построение современных автоматических и автоматизированных систем контроля и управления любой сложности. Однако, несмотря на всю значимость данных устройств, они в последние годы практически не эволюционируют. Большинство современных регуляторов, как и ранее, в качестве алгоритмов дифференцирования используют алгоритмы, основанные на использовании конечных приращений дифференцируемого сигнала и времени. Как неоднократно отмечалось в работах различных авторов [2], такие алгоритмы обладают крайне низкой устойчивостью к шумам в измерениях дифференцируемого сигнала. Данное обстоятельство не самым благоприятным образом сказывается на точности и качестве регулирования, что подтверждают результаты экспериментов приведенных ниже. Данное обстоятельство явилось стимулом для того чтобы синтезировать новый, более совершенный ПИД-регулятор на базе алгоритма цифрового дифференцирования сигналов основанного на

применении скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц, который бы обладал существенными преимуществами перед массово выпускаемыми ПИД –регуляторами.

Кратко рассмотрим сущность предлагаемого метода дифференцирования сигналов, который лежит в основе синтезируемого регулятора, более подробно он описан в работе [3]. Ее составляют следующие положения:

1. В качестве аппроксимирующей сигнал $y = f(t)$ функции $\hat{y} = \hat{y}(t)$ используется алгебраический полином 2 – го порядка, определяемый равенством

$$\hat{y}(t) = at^2 + bt + c, \qquad (1)$$

где a, b и c – коэффициенты, значения которых подбираются таким образом, чтобы погрешность аппроксимации имела минимальное значение.

2. Поиск коэффициентов полинома сведётся к решению системы условных линейных алгебраических уравнений.

$$A \cdot x \approx y, \qquad (2)$$

где матрица A, векторы-столбцы $\boldsymbol{x}$ и $\boldsymbol{y}$ определяются следующими равенствами:

$$\text{а) } A = \begin{pmatrix} t_0^2 & t_0 & 1 \\ (t_0+\Delta t)^2 & (t_0+\Delta t) & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ (t_0+m\cdot\Delta t)^2 & (t_0+m\Delta t) & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{б) } \boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \text{ и } \boldsymbol{y} = \begin{pmatrix} y(t_0) \\ y(t_0+\Delta t) \\ \dots\dots\dots \\ y(t_0+m\cdot\Delta t) \end{pmatrix} \qquad (3)$$

Знаком «$\approx$» – здесь обозначено приближенное или условное равенство.

3) решение условной системы уравнений (2) сводится к минимизации евклидовой метрики $\rho(y, \hat{y})$, определяемой равенством.

$$\rho(y,\hat{y}) = \left(\sum_{i=1}^{m}(y_i - \hat{y}_i)^2\right)^{1/2}. \qquad (4)$$

Как известно минимум метрики (4) является псевдорешением

$$\boldsymbol{x} = A^{+} \cdot \boldsymbol{y}, \qquad (5)$$

где: A^{+} – псевдобратная матрица к матрице А.

После определения коэффициентов a, b, c полинома (1) можно найти значение первой (6) и второй (7) производных в соответствии с равенствами.

$$y'(t) = 2at + b; \qquad (6)$$

$$y''(t) = 2a. \qquad (7)$$

Преимущество синтезированного ПИД-регулятора наглядно иллюстрируют результаты исследований его характеристик, и характеристик стандартного ПИД – регулятора реализованного в виде блока Simulink в пакете Matlab. Для объективного сравнения регулятор Matlab, был настроен с помощью специальной, стандартной процедуры входящей в данный пакет. Коэффициенты ПИД – регулятора были настроены для двух типов сигналов. Первый, сигнал это зависимость $\boldsymbol{y} = \sin(\boldsymbol{t})$, второй представляет собой реальную переходную характеристику уровня воды, в паровом котле барабанного типа. Полученные оптимальные коэффициенты для регулятора Matlab, были использованы в дальнейшем, при настройке синтезированного ПИД – регулятора.

Сравнительные результаты проведенных экспериментальных исследований изображены на рис. 1–3 и отражены в Табл. 1. Из них видно, что синтезированный регулятор, превосходит регулятор Matlab, как по точности регулирования, так и по «качеству» управляющего воздействия, особенно, когда регулирование осуществляется с прогнозом. Количество шагов упреждения, при котором достигается максимальная точность регулирования, для разных сигналов отличается весьма существенно, и должно выбираться в каждой конкретной ситуации индивидуально. Так при шаге моделирования 1мск, для первого тестового сигнала составляет 20 шагов, а для второго уже от 40 до 50. Из Рис. 3 отчетливо видно, что новый регулятор имеет существенное преимущество, по сравнению с регулятором Matlab, и это преимущество заключается в том, что амплитуда управляющего воздействия синтезированного регулятора, она изображена на рис. белым цветом, многократно меньше, амплитуды управляющего воздействия регулятора Matlab, на рис. изображена темным.

Все исследования проводились в условиях, когда дифференцируемый сигнал содержал ошибки измерения равные 2,5%. Результаты приведены для равномерного распределения шумов.

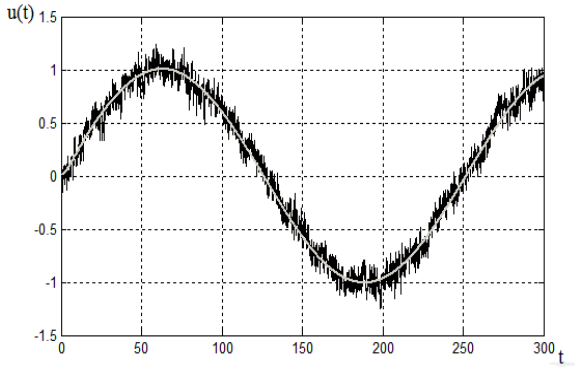


Рис. 1. Выход объекта регулятор Matlab

Таблица 1

Величин среднеквадратических отклонений, первой производной сигнала от ее истинных значений, для различных типов регуляторов

Тип регулятора	СКО
Синтезированный с прогнозом	0.057
Синтезированный без прогноза	0.06
Регулятор Matlab	0.084

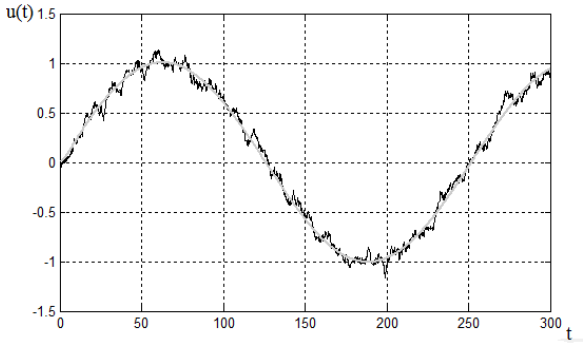


Рис. 2. Выход объекта новый регулятор

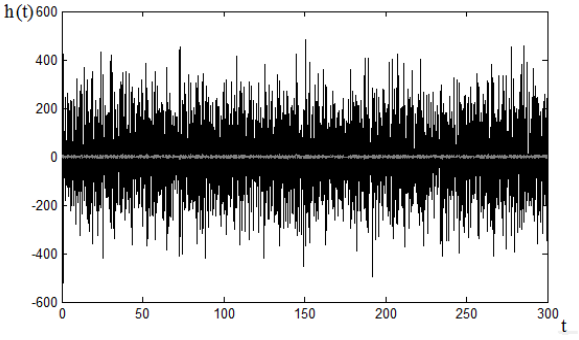


Рис. 3. Управляющее воздействие черный регулятор Matlab, белый новый регулятор

Заключение

Применение алгоритма цифрового дифференцирования сигналов основанного на использовании скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц, позволило синтезировать новый ПИД-регулятор, обладающий существенными преимуществами по сравнению со стандартным регулятором реализованном в пакете Matlab. К таким преимуществам можно отнести, во-первых, достаточно простую программную и аппаратную реализацию, во-вторых, более высокую точность регулирования, в-третьих, существенно превосходящее качество регулирования и в-четвертых, более высокую помехоустойчивость,

Список литературы

1. Ротач В.Я. Расчет настройки реальных ПИД регуляторов // Теплоэнергетика. 1993. №10.
2. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач [Текст]. / А.Н. Тихонов, Арсенин В.Я. – М.: Наука, 1979. Изд. 2-е.
3. Майстренко А.В. Цифровое дифференцирование сигналов в реальном масштабе времени с применением скользящей квадратичной аппроксимации [Текст] / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков, Н.В. Старовойтов // Омский научный вестник. – 2006. – №7(43). – С. 106–108. – Библиогр.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Микурова А.С.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tps@tpu.ru

Измерение сил используется во многих отраслях народного хозяйства: торговля, транспорт, пищевая промышленность, космическая отрасль, медицина и др.

Исторически первые измерители силы использовались в весах, что актуально и в наши дни. На сегодняшний день, тензометрические датчики нагрузки доминируют в весоизмерительном оборудовании. Исключением стали лишь некоторые лаборатории, где все еще используются точные балансирующие весы. Чувствительным элементом тензорезистивных датчиков является тензорезисторный преобразователь (тензорезистор), представляющий собой проводник, при деформации которого изменяются его длина L и площадь поперечного сечения Q. Деформация кристаллической решетки приводит к изменению удельного сопротивления ρ. Эти изменения приводят к изменению сопротивления проводника:

$$R=\rho L/Q$$

Тензодатчики могут давать показания с точностью до 0,03–0,25%, они также совместимы с любым весоизмерительным оборудованием и их можно использовать в любой промышленности.

Пьезоэлектрические датчики применяют для измерения динамических сил. Чувствительными элементами в них являются пластинки из пьезокварца. При нагружении на их поверхности образуется пропорциональный нагрузке электрический заряд. В зависимости от положения плоскостей разреза относительно осей кристаллов пластинки реагируют на силы сжатия или сдвига. Усилитель с большим входным сопротивлением, подключенный к чувствительному элементу, преобразует заряд в соответствующее электрическое напряжение. Кварцевые пластинки имеют очень высокую механическую прочность, линейную характеристику и малую температурную зависимость, а так же высокое электрическое сопротивление, так что в целом обладают очень хорошими метрологическими свойствами. Так как электрический заряд возникает в момент приложения силы, то пьезоэлектрические датчики особенно применимы для измерения очень быстро изменяющихся и ударных

нагрузок, к тому же при повышенных температурах. Пьезоэлектрические датчики силы выполняются в форме кварцевых колец, называемых нагрузочными. Площадь поверхности датчика, подверженная сжатию, определяет верхнюю границу измерений – от нескольких килоньютонов (при диаметре порядка сантиметра) до десятков кН (при диаметре порядка 10 см).

Кварцевые датчики удобны для измерения нескольких составляющих силы. Кварцевое кольцо можно вырезать так, что в специфических условиях их применения оно будет чувствительно только к силам одного совершенно определенного направления [1].

Принцип работы магнитострикционных датчиков основан на изменении магнитной проницаемости ЧЭ из магнитомягкого материала в направлении воздействия на него силы растяжения или сжатия (эффект магнитострикции). Они делятся на датчики, использующие измерение индуктивности и изменение взаимной индукции. На практике чаще всего используются магнитострикционные динамометры первого типа.

Тензодатчики силы обладают высокой линейностью и наиболее применимы для статических измерительных задач, в то время как пьезоэлектрические датчики силы характеризуются компактным исполнением и особенно подходят для установки в ограниченном пространстве.

Преимущества пьезоэлектрических датчиков становятся наиболее очевидными при измерении силы. Прочные и стойкие к перегрузке, они имеют высокое разрешение для измерений малейших динамических изменений, даже при высоких значениях предварительной нагрузки [1].

Существует много производителей датчиков силы, такие как: Kistler, Sartorius, Scaime, Sensor technics, Magtrol, Gefran, Kyowa, Flintec, Tenso-m, Futek и другие.

В табл. 1 приведены характеристики датчиков ведущих фирм с верхней границей измерения 3–5 кН. Тензодатчики японской фирмы Kyowa компактны и легки в установке. Датчики Flintec (США) изготовлены из нержавеющей стали и имеют высокий класс защиты. Российская фирма Tenso-m изготавливают тензодатчики, которые могут работать в отапливаемых и неотапливаемых помещениях. Стоимость таких датчиков невелика. Больше всего достоинств имеют пьезоэлектрические датчики фирмы Kistler (Швейцария): большую жёсткость и высокую чувствительность, широкий температурный диапазон. Главным достоинством является широкий измерительный диапазон сил, который начинается с нуля, а также то, что одним датчиком можно измерить силу по трем осям.

При выборе датчика силы, в первую очередь, необходимо решить какую силу он должен измерять, статическую или динамическую. Затем обратить внимание на диапазон измерения сил, температурный диапазон, автоматизацию процесса, сбор и хранение данных и др.

Анализ рынка силоизмерительной техники показывает, что среди датчиков силы для

автоматизированных систем контроля тензодатчики и пьезодатчики силы занимают прочные позиции в своих нишах, фактически не составляя друг другу конкуренции. Безусловным лидером в весоизмерительной технике являются тензодатчики. В области измерения динамических и квазистатических сил в биомеханике, медицине, космической отрасли – пьезодатчики.

Таблица 1

Тип датчика	Диапазон измерения сил	Погрешность	Температурный диапазон,˚С	Область применения
Тензодатчики				
Kyowa (Япония) http://www.kyowa.ru/products/sensors/loadcell/loadcell.htm				
LMB-A	5 Н – 2 кН	± 1%	---	Подходит для измерения распределённой нагрузки.
LUR-A-SA	±50 Н – 2 кН	± 0,5%	---	---- // ----
Flintec (США) http://www.flintec.chel.ru				
UB6	0–5кН	± 0,03	–40 ... +80	Комплектующие изделия в весоизмерительных (силоизмерительных) и весодозирующих системах.
PC-1	60Н – 2кН	± 0,012	–30...+40	Применяется для сложных условий эксплуатации.
PC-6	100Н – 2кН	± 0,020	–30...+40	Применяется для изготовление различных весовых систем.
ZLB	20Н – 2кН	± 0,02	-20...+65	Применяется в весах малой высоты.
Tenso-m (Россия) http://www.tenso-m.ru/				
T2	200Н – 2кН	±0,040	-50...+50	Платформенные весы, бункерные весы, взвешивание емкостей.
T24A	200Н – 2кН	±0,0200	-20... +65	Платформенные весы, настольные весы, лотковые расходомеры, взвешивание баков и емкостей.
T40A	500Н – 2,5кН	±0,0200	-20 ... +65	---- // ----

Окончание табл.

Тип датчика	Диапазон измерения сил	Погрешность	Температурный диапазон,˚С	Область применения
Kistler (Швейцария) http://www.kistler.com				
4576A2	0–2кН	±0,25	+15...+70	Измерение статических, квазистатических и динамических сил запрессовки и вставки, усилия пружин, сил резания, измерение и мониторинг сил сборки.
4577A2 4577A5	0–2кН 0–5кН	±0,25 ±0,25	+15...+70 +15...+70	Измерение сил запрессовки, статических и динамических сил сжатия при производстве оборудования.
Пьезоэлектрические датчики				
Kistler (Швейцария) http://www.kistler.com				
9017B	0–2кН	---	–50...+120	Измерение трёх ортогональных компонентов вектора силы, напр. в миниатюрных динамометрах для высокопрецизионной обработки резанием.
9130B21	0–3кН	---	–20...+120	Измерение сил запрессовки, вырубки и т.п., напр. контроль инструмента, измерение больших сил в шунтирующем режиме.

Список литературы

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2-х томах. – М.: Изд. Мир, 1992. – 420 с.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

Мисайлова Л.В.

Научный руководитель: Гормаков А. Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tps@tpu.ru

Упругие опоры применяются главным образом в приборах и представляют собой тонкие подвесы и растяжки, с помощью которых подвижные звенья приборов соединяются с неподвижными, например, с корпусом или станиной. Эти опоры благодаря упругой деформации рабочих элементов, допускают относительное перемещение подвижных звеньев в виде небольших отклонений от исходного положения.

Упругие подвесы допускают как поворотное перемещение подвижных звеньев, так и поступательное перемещение.

Основным достоинством упругих опор является малое сопротивление относительному перемещению звеньев. Это сопротивление обусловлено внутренним трением материала упругих элементов и настолько мало, что практически опора работает без трения. Высокая чувствительность к рабочей нагрузке, стабильность изменения противодействующего момента, отсутствие зазоров, износа и надобности в смазке обусловили широкое применение упругих опор в приборах высокой точности [1].

Недостатком упругих опор является ограниченная величина перемещения подвижных звеньев прибора, а также чувствительность к перекосам и вибрациям.

Перечисленные недостатки в большей степени характерные для торсионных подвесов и растяжек устраняются в трехленточной опоре [2] (рис. 1). Такая опора имеет стабильное положение оси вращения её подвижной части.

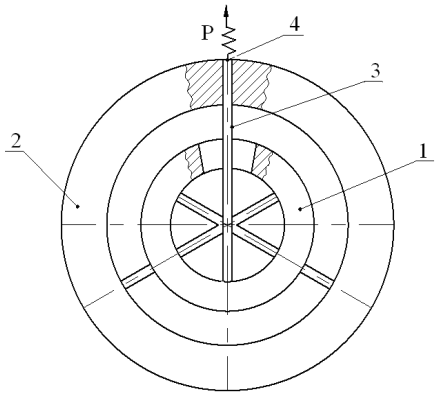


Рис. 1. Трехленточная упругая опора:
1 – внутреннее кольцо; 2 – наружное кольцо;
3 – упругий элемент (пластина);
4 – устройство нагружения

Опора содержит два кольца 1 и 2, связанных между собой пластинами 3, которые смещены относительно друг друга на 120°. Пластина 3 имеет устройство нагружения 4. Наружное кольцо 2 жестко связано с неподвижной частью прибора.

Подвижная часть прибора закреплена на внутреннем кольце 1 опоры и способна совершать угловое перемещение в пределах ±2°.

Благодаря подбору усилия натяжения пластин в опоре может быть получена квазинулевая крутильная жесткость при высокой радиальной и осевой жесткости.

Работа опоры основа на изгибе пластины под действием осевой нагрузки (рис. 2).

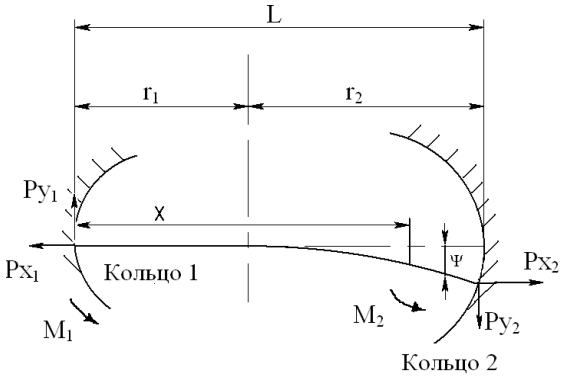


Рис. 2. Схема нагружения пластины

Выражение для суммарного момента всех сил и моментов, действующих по одну сторону от сечения ленты с абсциссой X

$$M = Px_1 Y - Py_1 X + M_1, \qquad (1)$$

где Px_1, Px_2 – растягивающие силы в пластине; Py_1, Py_2 – силы, изгибающие пластину; M_1 – изгибающий момент; X – координата рассматриваемого сечения.

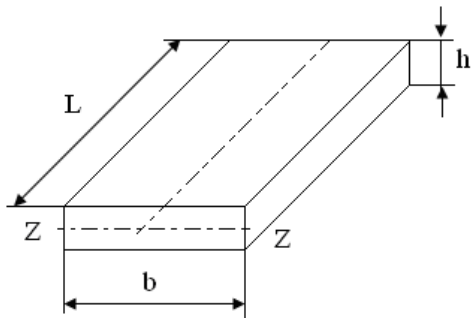


Рис. 3. Габаритные параметры пластины

Момент одной пластины при повороте опоры можно рассчитать по формуле:

$$Mn = \frac{ch\alpha(r_1 + \lambda th\alpha)}{ch(\frac{L}{h} + \alpha) - ch\alpha} Px\psi, \qquad (2)$$

где α определяется из выражения:

$$th\alpha = \frac{\frac{r_1}{\lambda} - sh\frac{L}{\lambda} + \frac{r_2}{\lambda} ch\frac{L}{\lambda}}{ch\frac{L}{\lambda} - \frac{r_2}{\lambda} sh\frac{L}{\lambda} - 1}, \qquad (3)$$

где

$$\lambda = \sqrt{\frac{EJ_{z-z}}{Px}}, \qquad (4)$$

E – модуль упругости, $J_{z-z} = \frac{bh^3}{12}$ – момент инерции площади поперечного сечения пластины, относительно продольной оси ZZ, проходящей через центр масс поперечного сечения.

Крутильная жесткость опоры вычисляется по выражению [3]:

$$C = \frac{ch\alpha(r_1 + \lambda th\alpha)}{ch(\frac{L}{\lambda} + \alpha) - ch\alpha} Px. \qquad (5)$$

Рассмотрим пример расчета опоры для прецизионных приборов.

Исходные данные к расчету опоры:

1. Нагрузка на опору лежит в пределах от 0,5 до 5 Н.

2. Габариты – минимально возможные при выполнении условий прочности.

Задача: определить геометрические размеры опоры при выполнении условия настройки на квазинулевую жесткость.

Решение задачи

Для расчета опоры необходимо выбрать материал упругих элементов (пластин). Для этой цели могут быть использованы материалы, обладающие высокими упругими характеристиками: бериллиевые бронзы, пружинные стали, монокристаллический кремний.

Возьмем наиболее доступный материал – пружинную сталь 60С2А ГОСТ 14963-78.

Произведем расчет крутильной жесткости опоры в зависимости от силы Px нагружения упругих элементов. Для исключения влияния изменения веса подвижной системы на настройку опоры примем условие: усилие Px в несколько раз превышает вес «полезной нагрузки».

С помощью программы MathCad рассчитаем значения крутильной жесткости C для усилий нагружения Px в диапазоне от 0 до 150 Н (рис. 4). Зададим значения радиусов колец r_1 и r_2 для двух случаев: I) r_1 = 5 мм, r_2 = 10 мм; II) r_1 = 10 мм, r_2 = 20 мм. Значения толщины пластины h в первом и во втором случаях принимаем равными 0,2 мм, 0,3 мм и 0,4 мм. Ширина пластины b для всех случаев 4 мм.

Для рассмотренных размеров и нагрузок упругий элемент проверяется по условию прочности.

Анализ результатов расчета (рис. 4) показывает, что опора с параметрами r_1=5 мм, r_2=10 мм и h = 0,3 мм имеет при выполнении условия прочности, следующие преимущества:

1) минимальные габариты;

2) наиболее благоприятные условия настройки на квазинулевую жесткость. Меньшая, чем для случая II крутизна настроечной характеристики позволяет осуществить настройку плавно.

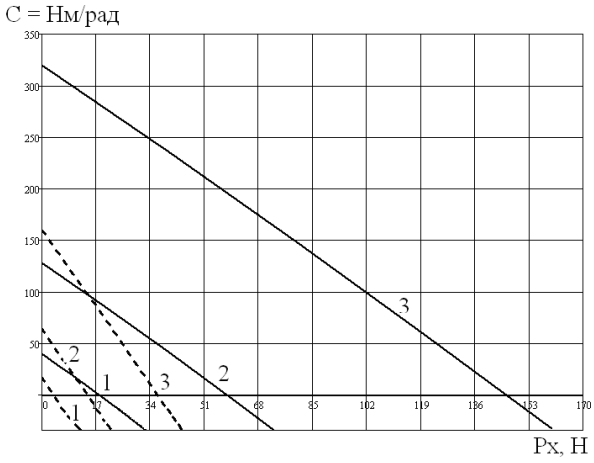


Рис. 4. График зависимости крутильной жесткости C от силы нагружения Px: – – – для r_1 = 10 мм, r_2 = 20 мм; ——— для r_1 = 5 мм, r_2 = 10 мм; 1 – h = 0,2 мм; 2 – h = 0,3 мм; 3 – h = 0,4 мм

Для оптимизации конструкции проектируемых опор, ускорения процесса расчета и проектирования целесообразно разработать алгоритм параметрического конструирования с использованием возможностей CAD–систем, например T–Flex CAD. С помощью системы T–Flex Анализ можно на этапе конструирования получить информацию о напряжениях, возникающих в материале элементов конструкции опоры, деформациях, собственных частотах конструкции при действующих нагрузках. Такой анализ позволяет исключить ошибки конструирования.

Список литературы

1. Спицын Н.А. и др. Опоры осей и валов машин и приборов. – Л.: Машиностроение, 1970. – 520с.
2. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 392 с.
3. Бабаева Н.Ф., Ерофеев В.М., Сивоконенко И.М. и др. Расчет и проектирование элементов гироскопических устройств. – Л. Машиностроение, 1967. – 480 с.

МОМЕНТНО-ДЕМПФИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Морозов Д.А.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: m_diman@mail.ru

При разработке систем стабилизации и ориентации малых и средних космических аппаратов (КА), рассчитанных на длительное существование, чаще всего используют электромеханический исполнительный орган (ИО), который состоит из гиродвигателя, моментно-демпфирующего устройства (МДУ), датчика угла, корпуса и других функциональных узлов. Обеспечение всего комплекса динамических характеристик ИО зависит напрямую от характеристик функциональных узлов, из которых он состоит.

Проведенный анализ опубликованных материалов [1] за период 1965–2008 гг. показывает, что ИО интенсивно совершенствуются, при этом четко прослеживается тенденция совершенствования габаритно-массовых характеристик ИО за счет увеличения скорости вращения маховиков (рис. 1), а также ресурса (рис. 2). Парадоксальное увеличение одновременно угловой скорости и ресурса объясняет недогрузкой шарикоподшипниковых опор в невесомости.

В классическом исполнении двигатель-маховик представляет собой электрический двигатель, на выходном валу которого установлена маховая масса, выполненная виде диска с ярко выраженным ободом. Вращение маховика в настоящее время осуществляется только электрическими двигателями. Это объясняется простотой получения энергии для двигателя и управления им. Последнее имеет первостепенное значение, т. к. наряду с общеизвестными требованиями (малые габариты и масса, малое потребление энергии, высокая надежность) чуть ли не главным требованием является хорошая регулировочная характеристика в широком диапазоне угловых скоростей. В связи с этим, в настоящее время наибольшее применение находят бесконтактный двигатель постоянного тока и асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

В результате анализа существующих конструкций МДУ выбрана кинематическая схема **двигатель → редуктор → демпфер**. Исходя из технических характеристик, которые необходимо обеспечить в диссертационной работе, принято решение МДУ выполнить в виде 3-х блоков – электродвигателя, редуктора и демпфера, что обеспечит передачу управляющего момента на рамку подвеса и одновременно демпфирование механического воздействия при работе ИО на корпус КА. Сочетание высокоскоростного электродвигателя с передачами с большим передаточным числом позволяет значительно уменьшить массу и габариты приводов.

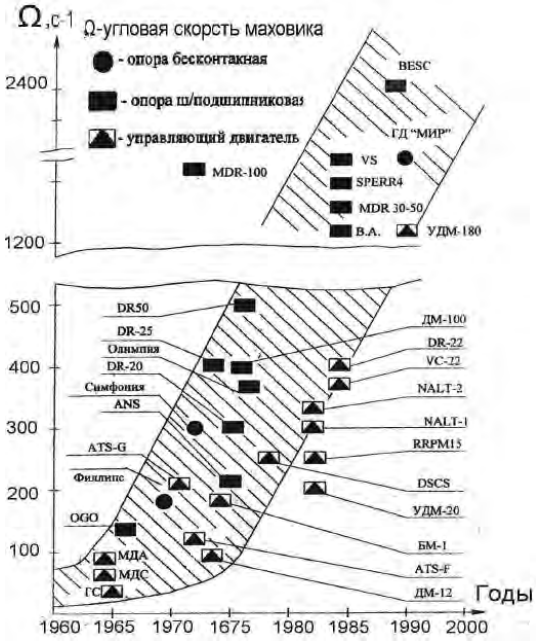


Рис. 1. Тенденция изменения скорости маховика электромеханических ИО

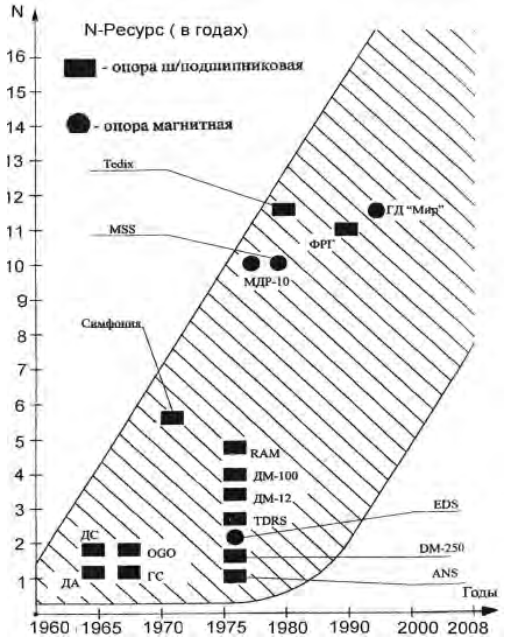


Рис. 2. Тенденция изменения ресурса электромеханических ИО

Анализ различных типов редукторов показал, что наилучшим вариантом является волновой редуктор на передачах с промежуточными телами качения. Технически волновые передачи с промежуточными телами качения (ВППТК) являются симбиозом двух видов передач – механических передач с промежуточными телами качения и волновой зубчатой передачи.

Шарики, использованные в качестве промежуточных тел качения, имеют высокую твердость рабочих поверхностей в точках контакта этих тел с рабочими поверхностями жесткого колеса, соизмеримую с твердостью режущего инструмента.

Основой рассматриваемых передач является конструкция, представленная на рис. 3. Генератор волн – эксцентрик 3, вращаясь, вызывает радиальные перемещения шариков 4 в пазах обоймы 2. Шарики 4 контактируют с поверхностями зубьев жёсткого колеса 1. Разность числа шариков и зубьев жёсткого колеса, обычно при эксцентриковом генераторе равная единице и обеспечивает редукцию движения выходного звена передачи. Выходным звеном могут служить обойма с шариками или жёсткое колесо, при фиксации одного из них относительно корпуса.

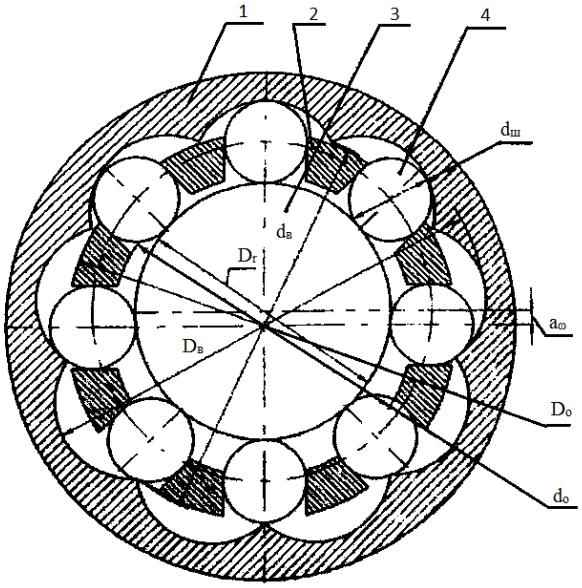


Рис. 3. Волновая передача с промежуточными телами качения: $d_ш$ – диаметр шарика; $D_в$ – диаметр впадин зубчатого венца; $d_в$ – диаметр выступов зубчатого венца D_o – наружный диаметр обоймы; d_o – внутренний диаметр обоймы; $D_г$ – диаметр генератора; $a_ω$ – эксцентриситет генератора

Конструкции ВППТК обеспечивают новое качество и новые преимущества, такие как длительность эксплуатации и снижение нижнего предела передаточного отношения и улучшенные динамические характеристики [2].

Демпферы, или гасители колебаний, представляют собой устройства, предназначенные для рассеивания энергии, сообщаемой системе внешними возмущающими моментами. Из конструкторских соображений выбран демпфер с вязким трением.

Демпфер вязкого трения обеспечивает более стабильную работу при длительной эксплуатации по сравнению с демпфером сухого трения. Кроме того, опыт показывает, что такой демпфер обеспечивает необходимое рассеивание энергии при сравнительно меньших габаритах. В связи с этим демпферы вязкого трения вытеснили демпферы сухого трения. Отличие конструкций демпферов вязкого трения от демпферов сухого трения заключается в способе создания трения. На первом этапе развития демпферов вязкого трения вязкая жидкость – масло – вводилась между маховичком

и ступицей демпфера. Для повышения коэффициента вязкого трения в радиальных плоскостях ступицы и маховичка демпфера установлена система лопаток, разделяющих область, заполненную вязкой жидкостью, на отдельные камеры. При относительном смещении маховичка и ступицы вязкая жидкость протекает из одних камер в другие через зазоры между лопатками и телами маховичка и ступицы. При изменении зазоров изменяется сопротивление протеканию жидкости из одних камер в другие и меняется коэффициент вязкого трения [3].

Разработанные технические решения позволяют реализовать современные требования, предъявленные к КА, в частности, ресурс работы комплекса до 10–15 лет, уровни максимального управляющего момента до 1000 Нм, диапазон регулирования управляющего момента до 1:2000, точность реализации управляющего момента 1–2%. При этом в зависимости от объекта применения может быть реализовано конструктивное исполнение как для герметичных, так и негерметичных приборных отсеков КА.

Возможность достижения указанных характеристик базируется на многолетних испытаниях элементов, узлов, систем и приборов по подтверждению их технических характеристик в течение длительного ресурса, а также на результатах их эксплуатации в натурных условиях.

Список литературы

1. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск, 2000.
2. Янгулов В.С. Волновые и винтовые механизмы и передачи. – Томск, 2008.
3. Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н., Станько Э.Д. и др. Электромеханический исполнительный орган с моментно-демпфирующим устройством// Системы электроснабжения автономных объектов. – Томск, 1986.

СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО КРЕМНИЯ НА ОСНОВЕ СВЧ АВТОДИННЫХ ДАТЧИКОВ

Новиков А.Н.

Научный руководитель Юрченко А.В., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: an-novikov@inbox.ru

Введение

Темпы развития солнечной энергетики сдерживаются дефицитом кремния солнечного качества и высокими ценами этого материала. Инвесторы вкладывают значительные средства в производство кремния, в том числе и на территории Российской Федерации. Создаются несколько предприятий по производству поликремния (г. Железногорск, г. Усолье-Сибирское, г. Томск), а также развиваются уже существующие предприятия на производство кремния (ЦКП «Гиредмет», г. Москва; ЗЧМ, г. Красноярск).

Все это свидетельствует о возрождении полупроводниковой промышленности в России, что в свою очередь ставит перед инженерами и технологами серьезные задачи в части организации технологии производства. Диагностика электрофизических параметров полупроводников является необходимой частью технологии их производства, поэтому требуются дешевые приборы технологического и эксплуатационного контроля кремния солнечного качества.

Наиболее полную информацию о качестве материала можно получить, зная его удельное электрическое сопротивление и время жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ).

В данной работе исследована возможность измерения основных электрофизических параметров структурно-неоднородного кремния свч методами с использованием автодинных датчиков [1, 2]. Автодинные датчики позволяют уменьшить количество функциональных узлов измерительной установки, что значительно упрощает её конструкцию и удешевляет прибор.

Методы измерения электрофизических параметров кремния

Принцип действия радиоволновых методов измерения электрофизических параметров полупроводников основан на регистрации потерь СВЧ мощности, вносимых свободными носителями исследуемого образца в СВЧ поле измерительного датчика.

При измерении удельного электрического сопротивления величина потерь СВЧ мощности напрямую определяет удельное сопротивление образца [3].

При измерении времени жизни ННЗ используют радиоволновый метод измерения спада фотопроводимости. Метод основан на регистрации потерь СВЧ поля в локальном участке полупроводника, освещаемого импульсами оптического излучения. При освещении полупроводника ННЗ, возбужденные светом, попадают в область действия датчика и вносят тем самым дополнительные потери в СВЧ поле. В результате на выходе датчика СВЧ сигнал, несущий информацию о времени жизни ННЗ в полупроводнике.

Конструкция измерительных датчиков

Измерительный датчик представляет собой автодинный датчик, СВЧ мощность которого через коаксиальный волновод подается на образец.

Автодинный датчик – это приемопередающая система, параметры которой изменяются под воздействием отраженного от объекта сигнала. Системы, построенные по автодинному принципу, имеют простейшую конструкцию приемопередающего модуля, который содержит автогенератор на диоде Ганна, обеспечивающий одновременное выполнение функции передатчика и преобразователя полезного сигнала, отраженного от измеряемого образца.

Для настройки на заданные частоту и выходную мощность используют серии шлейфов, расположенных вблизи резонатора и выходной линии передачи с последующим их подсоединением с помощью токопроводящих перемычек. Для модуляции фотопроводимости в измерительный датчик встроены светодиоды.

Установки СВЧ-контроля параметров кремния

На рис. 1 представлена структурная схема установки для измерения удельного электрического сопротивлении и времени жизни ННЗ кремния. Калибровка установки производилась на образцах с известным удельным сопротивлением (ИФП СО РАН) в диапазоне от 0,2 до 20 Ом·см.

Для примера можно сравнить структуру измерительных установок на основе СВЧ резонатора [4, 5] (рис. 1, *а*) и автодинного датчика [1] (рис. 1, *б*).

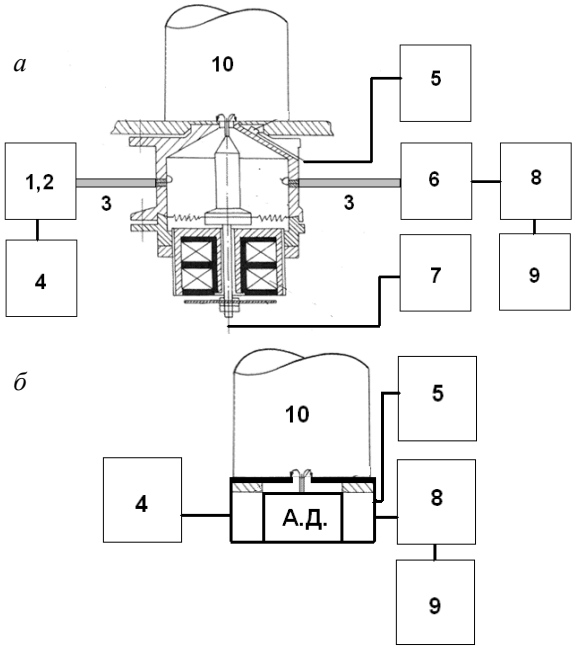


Рис. 1. Измерительная установка на основе автодинного датчика (а). Измерительная установка на основе СВЧ резонатора (б): 1 – генератор, 2 – резонатор, 3 – волновод, 4 – источник питания, 5 – генератор импульсов, 6 – детектор, 7 – блок управление штырем, 8 – блок обработки, 9 – индикатор (ЭВМ), 10 – образец

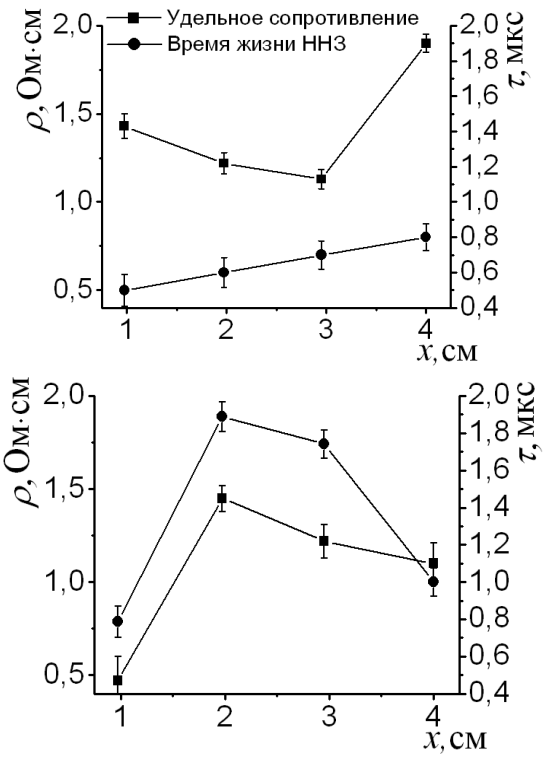


Рис. 2. Результаты измерения удельного сопротивления ρ и времени жизни ННЗ τ в образцах кремния

Как видно из рисунка измерительная установка на автодином датчике имеет гораздо меньше дополнительного оборудования, что в свою очередь упрощает конструкцию, что в свою очередь снижает цену и габариты установки.

Результаты

С помощью измерительной установки на автодином датчике было измерено удельное сопротивление и время жизни ННЗ образцов мультикремния. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Вывод

Использование автодинных датчиков в реализации СВЧ методов измерения удельного сопротивления и времени жизни ННЗ позволяет уменьшить количество дополнительного оборудования и снизить стоимость измерительных установок.

Список литературы

1. Воторопин С.Д., Юрченко А.В., Юрченко В.И., Чихман А.В., Крылов С.В., Мызгин В.С. Автоматизированная установка на основе автодинных датчиков КВЧ диапазона для контроля материалов. Электронная промышленность.1998. Вып. 1–2. – С. 136.
2. Крылов С.В., Юрченко А.В., Воторопин С.Д., Юрченко В.И. Установка визуализации и определения мест дефектов в плоских материалах на основе КВЧ автодинных датчиков 5-мм диапазона // III Всероссийская НТК «Методы и средства измерений физических величин»: сборник докладов. Н. Новгород: июнь 1998. Т. V. С. 4–5.
3. Miyamoto N., Nishizawa J. Contactless measurement of resistivity of slices of semiconductor materials. – Research institute of electrical communication. – 1967. – V. 38, №10. – P. 360–367.

4. Ахманаев В.Б., Медведев Ю.В., Петров А.С. Резонатор для бесконтактного измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов // Электронная техника: сер. Электроника СВЧ. – 1981, вып.4, с.48–51.

5. Детинко М.В., Медведев Ю.В., Петров А.С. Физические основы неразрушающего СВЧ-резонансного метода локального контроля электрофизических параметров полупроводников.– Томск: Изд. ТГУ, 1988.– 30 с.

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Овчинников П.Г., Силушкин С.В., Спиридонова А.С.

Научный руководитель: Муравьев С.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: termit@vtomske.ru

Приборы для измерения цвета «воспринимают» цвет подобно человеческому глазу: путем приема и фильтрации отраженных от объекта и преобразованных световых волн различной длины. Определенной длине волны соответствует определенное числовое значение. Можно оценивать разные характеристики цвета: для измерения оптической плотности используются денситометры; для измерения спектральных данных – спектрофотометры; для измерения трехмерных координат цвета – колориметры.

Цветоизмерительные приборы всех трех типов приписывают цвету определенные числовые значения, которые впоследствии можно анализировать и интерпретировать в терминах допустимых отклонений и контрольных допусков или как результаты измерений качественных характеристик средств отображения информации, полиграфии, а так же определения состава веществ.

Для расширения функциональных возможностей приборов фирмы-производители стремятся включать как можно большее количество измеряемых величин или, например, объединить в одном приборе возможности работы с прозрачными и непрозрачными материалами.

Для проведения цифрового цветометрического анализа (ЦЦА) используется полимерный оптический датчик – оптод [1, 2], рис. 1. Оптод погружается в исследуемый раствор и, в зависимости от искомого элемента, приобретает определенный цвет различной интенсивности (рис. 1).



Рис. 1. Оптод после взаимодействия с серебром (Ag)

В колометрии интерпретация данных происходит в виде координат цвета. Для представления цвета используются различные модели: *RGB*, *HSL*, *CIE Lab*, *XYZ* [2].

Проведенные исследования и математические расчеты показали, что для таких измерений информацию о цвете имеет смысл представлять в *RGB*-пространстве [3].

Для разрабатываемой системы измерения цвета необходимо соответствующее программное обеспечение с возможностью сбора, анализа и обработки получаемых данных.

Разработанная программа в среде программирования *LabVIEW* (рис. 2) позволяет измерять цвет в RGB-модели, а также представлять полученные данные в других форматах. Информацию о цвете исследуемого объекта обрабатывается и интерпретируется в концентрации искомого элемента.

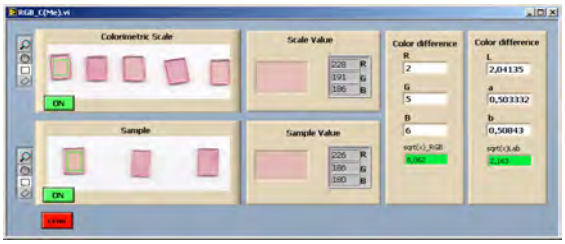


Рис. 2. Интерфейс LabVIEW программы расчета цветовой разницы образца и шкальных значений

В представленной программе оптод с неизвестной концентрацией металла сравнивается с цветометрической шкалой, данные о которой уже хранятся в памяти компьютера. Цветометрическая шкала представляет собой набор опорных цветных образцов с различной интенсивностью цвета. Интенсивность окраски датчика зависит от концентрации химического элемента и добавляемого раствора, рис. 3.

Опорные цветные образцы									
С, мг/л	0	.024	.050	.074	.100	.124	.150	.174	.200

Рис. 3. Шкала для определения концентрации Ag

Оптоды изготавливают в химической лаборатории специальным методом [4]. Полученные образцы также можно оцифровать и хранить данные о них на персональном компьютере – сервере и, при необходимости, обращаться к нему через Интернет – достаточно знать *IP*-адрес сервера. Метод создания библиотеки цвета предлагают и японские разработчики [5].

Программное обеспечение позволяет:

• отобразить шкалу и градуировочную характеристику;

• представить цветовую характеристику исследуемого оптода;

• сравнить объект со шкалой и вычислить цветовую разницу между ними, получить информацию об исследуемом объекте;

• провести необходимую математическую обработку;

• определить концентрацию вещества в растворе.

Для выбора способа и средства измерения цвета оптода был проведен эксперимент, в котором использовались данные полученные с планшетного сканера *HP Scanjet* и оценочной платы фирмы *MAZeT*, табл. 1.

Таблица 1

Данные со сканера				
код/С, мг/л	*R*	*G*	*B*	*dE*
0,000	235	219	164	0,00
0,024	234	216	165	3,32
0,050	233	208	163	11,22
0,074	232	204	164	15,29
0,100	232	202	171	18,63
0,124	229	193	168	26,98
0,150	229	191	179	32,33
0,174	228	189	174	32,39
0,200	225	176	182	47,68
Данные с оценочной платы				
код/С, мг/л	*R*	*G*	*B*	*dE*
0,000	255	255	236	0,00
0,024	255	253	234	2,83
0,050	255	250	220	16,76
0,074	255	242	218	22,20
0,100	255	238	213	28,60
0,124	255	241	210	29,53
0,150	255	230	207	38,29
0,174	255	228	200	45,00
0,200	255	208	194	63,03

Построенные градуировочные характеристики по полученным данным (табл. 1), позволяют сделать вывод о возможности применения *RGB*-датчиков в ЦЦА.

Предлагаемая система (рис. 4) с использованием ЦЦА может найти массовое применение и обеспечить значительный экономический эффект.

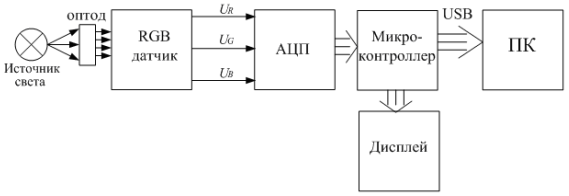


Рис. 4. Система сбора и обработки цветометрической информации

В схеме требуется подбор источника света с точно заданной температурой свечения – светодиод белого свечения. *RGB*-датчик, плата сбора информации и преобразования сигнала для *USB*-интерфейса предлагается компании *MAZeT* (Германия), которая специализируется на выпуске малогабаритных сенсоров для измерения цвета. Для визуального контроля и калибровки в систему имеется возможность установить видеокамеру с ПЗС-матрицей.

Разработка программного обеспечения ведется в графической среде программирования *LabVIEW*, которая позволяет одновременно проводить обработку информации, как математическим аппаратом, так и с помощью специальных средств *VISION*.

Так как измерительный блок системы реализуется в виде компактного переносного устройства, то и возможности ее использования расширяются: от экологического мониторинга до контроля качества и состава веществ в различных производственных и технологических процессах; как в лабораторных, так и в бытовых условиях.

Использование полимерных оптодов и ЦЦА дает следующие преимущества:

• нет необходимости иметь комплект реактивов и проводить процедуру пробоподготовки;

• цветометрический сигнал появляется после непродолжительного контакта полимерного оптода с анализируемым объектом и сохраняется длительное время;

• повышение чувствительности и селективности определения концентрации веществ за счет использования всей спектральной информации, а не единичного сигнала при определенной длине волны;

• получение цветометрической информации от сенсора обеспечивает эффективную компьютерную реализацию методик анализа состава веществ, глубокую математическую обработку и визуализацию результатов измерений.

Список литературы

1. Гавриленко Н.А., Саранчина Н.В., Мокроусов Г.М. Чувствительный оптический элемент на ртуть (II). – Журнал аналитической химии, 2007, т. 62, № 9. – С. 923–926.
2. Джадд Д. и др. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978.
3. Саранчина Н.В., Качина А.С, Гавриленко Н.А. Оптический сенсор для определения меди (II). – Полифункциональные химические материалы и технологии. Сборник статей. Т. 2 / под ред. Ю.Г. Слижова. – Томск, 2007. – 287–289 с.
4. Nedosekin[1] D.A., Saranchina N.V., Mokhova O.V., Ageeva[1] E.V., Gavrilenko N.A., Proskurnin M.A., Mokrousov G.M. Sensitive solid-state optical sensible materials for photothermal determination of trace metals. – The European Physical Journal – Special Topics, 2008, Vol. 153, No. 1, pp. 25–28.
5. Etsuko Hirayama, Tsunemi Sugiyama, Hideaki Hisamoto, and Koji Suzuki Visual and Colorimetric Lithium Ion Sensing Based on Digital Color Analysis – Anal. Chem. 2000, 72, 465–474.

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Охорзина А.В, Китаева М.В.

Научный руководитель: Юрченко А.В, д.т.н, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ameba_89@mail.ru

Бурное развитие солнечной энергетики обусловлено ее экономической эффективностью и экологической безопасностью. Так как солнечная энергия характеризуется максимальной простотой использования, наибольшими ресурсами, экологической частотой и повсеместным распространением. Эти обстоятельства определяют гелиоэнергетику как одно из наиболее перспективных направлений развития возобновляемой энергетики.

Основным фактором, ограничивающим широкое применение солнечной энергетики на практике, является стоимость энергетических систем на его основе [1].

Снижение стоимости производства электроэнергии такими системами возможно за счет снижения стоимости СБ или повышения КПД.

Реализация первого способа возможна следующими путями:

• удешевлением производства – созданы цеха автоматического производства СБ, для обслуживания которых необходима пара человек;

• удешевлением кремния путем замены монокристалла кремния на поликристалл и мультикристалл кремния;

Для повышения КПД солнечных элементов можно:

• используя тандемные установки, многослойный фотоприемник на гетеропереходах, хотя это увеличивает стоимость;

• применяя, двусторонние фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), что незначительно улучшает эффективность;

• добавив различные концентраторы, которые наряду с увеличением фотоответа, сопровождаются повышением температуры элементов, что негативно влияет на КПД;

• введя *систему слежения за Солнцем*.

Последний вариант является наиболее приемлемым, так как даже при эффективной стационарной установки СБ проигрыш в вырабатываемой мощности достигает 50%, чем при непрерывном ориентировании на солнце. Следящая система обеспечивает более равномерное генерирование электричества с восхода до захода солнца.

Ориентирование на Солнце возможно с применением одноосных и двухосных систем [2].

Также существует еще несколько способов слежения за солнцем:

• ручная наводка на солнце;

• пассивные системы (основаны на программировании алгоритма управления СБ);

• активные системы.

Ручная наводка обладает меньшей точностью и требует постоянного обслуживания оператором, но проста.

Пассивный способ основан на слежении за солнцем по азимуту и углу, расчетено-постоянных характеристик для географического места установки. Такие системы обеспечивают необходимую скорость вращения в азимутальном и вертикальном направлениях с учетом времени года. Недостатком данного метода является введение поправок на сезонную высоту склонения солнца, сложность программирования и приемлемость программы только для одного географического положения.

Наибольшее развитие получили активные системы. Они применяются как для ориентирования солнечных батарей на земле, так и для ориентации в космических аппаратах.

Различают системы на фотодиодах, фоторезисторах, фотоэлектрических преобразователях. Примером активной системы может служить гелиотрекер [3].

Также существуют термомеханические самонаводящиеся системы, в которых воспринимающий датчик является термочувствительным элементом (ТЧЭ).

По принципу гелиотрекера был сконструирован датчик.

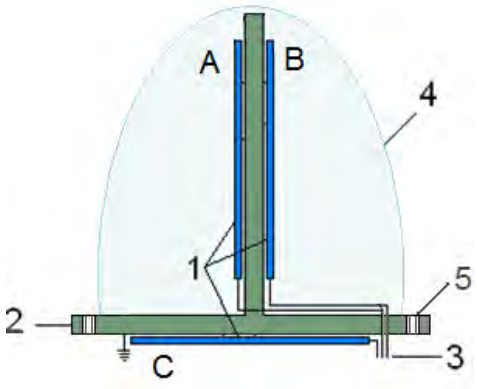


Рис. 1. Предлагаемая конструкция фотоэлектрического датчика наведения на Солнце:
1 – три идентичных ФЭП (элементы A, B, C);
2 – теплопроводящая перегородка; 3 – соединительные провода; 4 – защитное стекло;
5 – отверстия для винтов

В качестве фоточувствительных элементов выбран кремниевый фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), это обусловлено сферой использования данного датчика – слежение за Солнцем для кремниевых СБ, поэтому датчик получил название фотоэлектрический датчик (ФЭД)

В основе датчика: два лицевых элемента для определения положения Солнца, третий тыловой элемент (С) – для исключения влияния рассеянного излучения и . Элементы А и В установлены на разные стороны перегородки, что позволяет скомпенсировать влияние разности температур. Также перегородка служит токопроводящим элементом.

Для анализа чувствительности ФЭД были построены диаграммы направленности (рис 2) для СБ и для двух ФЭП (элементы А и В ФЭД), наглядно демонстрирующие, что для получения максимального тока короткого замыкания, а, следовательно, и мощности СБ, необходимо расположить датчик таким образом, чтобы сигналы с элементов А и В были равны и минимальны. Также видно, что наибольшее изменение тока элементов датчика лежит в диапазоне изменения угла падения солнечных лучей к нормали плоскости СБ от 0^o до 30^o, т.е. на в этом периоде чувствительность датчика максимальна. Следовательно, этот период и будет порогом срабатывания датчика.

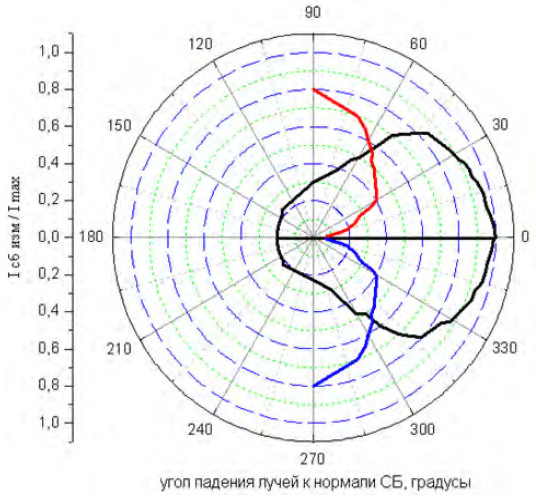


Рис. 2. Диаграммы направленности для СБ и датчиков А, В

Структурная схема системы ориентирования на Солнце представлена на рис. 3.

В данной системе сигналы поступающие от элементов А и В уменьшаются на уровень сигнала с элемента С в устройстве сравнения и выработки управляющего сигнала, результаты сравниваются и вырабатывается управляющий сигнал для двигателя (положительный или отрицательный) для наведения СБ.

На базе солнечного энергетического комплекса мощностью 240 Вт, размещенного на крыше 10 корпуса ТПУ, был апробирован макетный образец системы слежения за Солнцем на основе фотоэлектрического датчика.

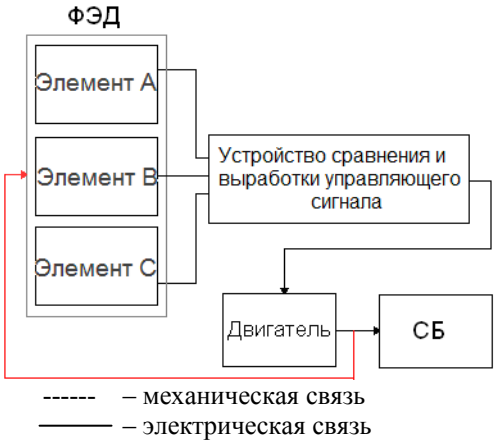


Рис. 3. Структурная схема системы ориентирования на Солнце

Выводы

3. По принципу работы гелиотрекера была разработана конструкция и рассчитаны диаграммы направленности для СБ и элементов А, В фотоэлектрического датчика.

4. Был создан макетный образец ФЭД и апробирован на основе энергетического комплекса мощностью 240 Вт.

Список литературы

1. Юрченко А.В.,Савросов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя // Известия Томского политехнического университета, 2009 – Т. 314. – № 3. – С. 43–46
2. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 314. – № 4. – С. 142–148
3. www.delaysam.ru

ТРЕХФАЗНАЯ НУЛЕВАЯ СХЕМА С УРАВНИТЕЛЬНЫМ РЕАКТОРОМ

Пенин Е.О., Игольников Ю.С.

Научный руководитель: Игольников Ю.С., к.т.н., доцент

ГОУВПО «Мордовский государственный университет имени Н.П.Огарева», 430000 Россия, республика Мордовия, город Саранск, улица Богдана Хмельницкого, дом 39
E-mail: devian90@mail.ru

Широко известна трехфазная нулевая схема [1]. Однако не было известно её применение в схеме с уравнительным реактором (УР). С УР известна схема, содержащая две обратные звезды. Была разработана трехфазная нулевая схема на тиристорах с УР [2], рис. 1

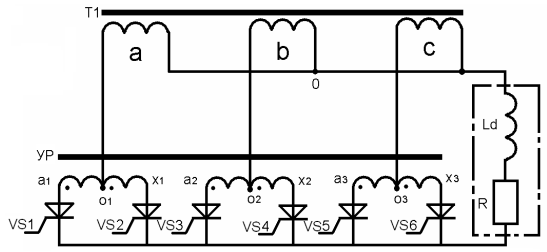


Рис. 1. Схема трехфазной нулевой схемы с уравнительным реактором

В схеме параллельно работают две фазные обмотки совместно с УР. В трехфазном трансформаторе вторичные обмотки соединены в звезду и соединены с обмотками УР. УР выполнен в виду трех одинаковых обмоток, расположенных на одном магнитопроводе. Каждая вторичная обмотка Каждая вторичная фазная обмотка трехфазного трансформатора соединена со средней точкой соответствующей обмотки УР. Начиная, например, с момента $t=t_1$, ток проводят тиристоры VS1 и VS4, поскольку напряжение обмотки УР a_1o_1 вычитается из фазной ЭДС e_a и добавляется напряжением обмотки УР x_2o_2 к ЭДС e_b, и тем самым выравниваются напряжения анодных цепей. Диаграммы иллюстрирующие принцип работы схемы приведены на рис. 2. Напряжение на одной из обмоток УР показано на рис. 2, б. Порядок включения тиристоров и протекание тока показан на рис. 2, г и рис. 2, д.

Способ управления преобразователя заключается в подаче управляющих импульсов со сдвигом на 1/3 периода при отрицательных мгновенных значениях фазных э. д. с. в точку естественной коммутации, если не требуется регулирования, причем на каждый из тиристоров импульс подается один раз за два периода. Для обеспечения такого режима работы была разработана схема управления, блок-схема которой приведена на рис. 3.

Детектор фазы нуля отслеживает точку перехода через ноль фазного напряжения, после чего таймер момента включения определяет момент подачи импульса на один из тиристоров. Таймер длительности импульса управления определяет длительность импульса для открытия вентиля (тиристора). Делитель на 2 с помощью дешифратора распределяет управляющие импульсы по тиристорам.

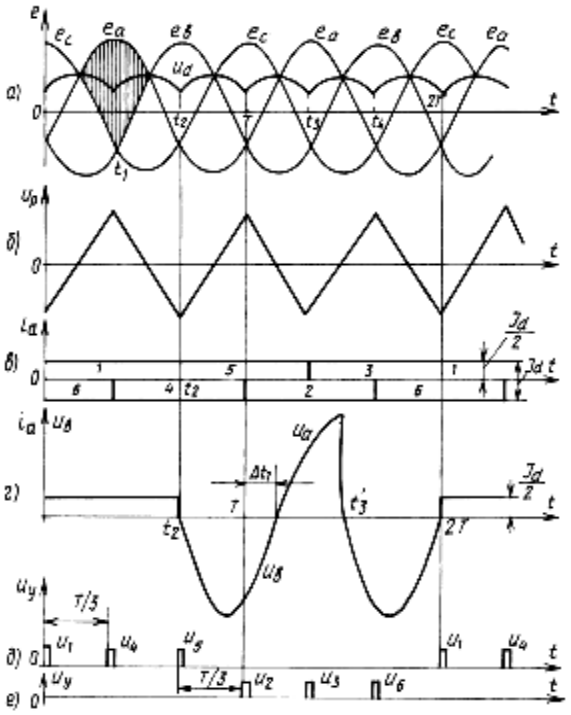


Рис. 2. Теоретические данные полученные при моделировании

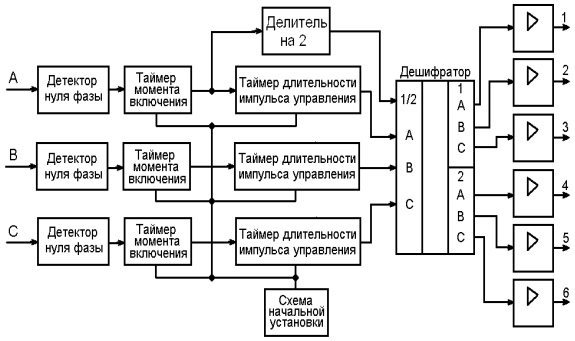
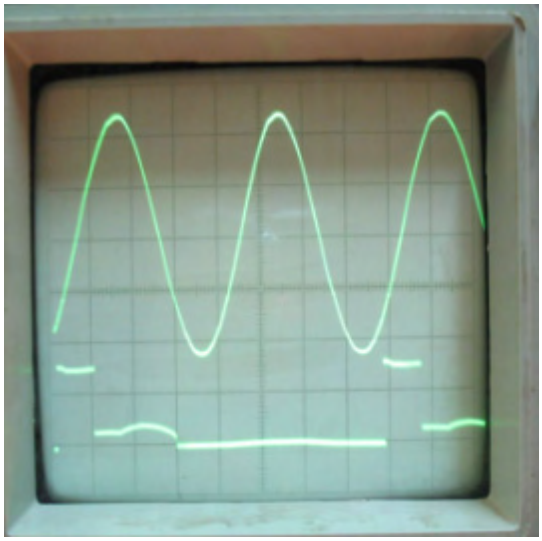


Рис. 3. Блок-схема управления

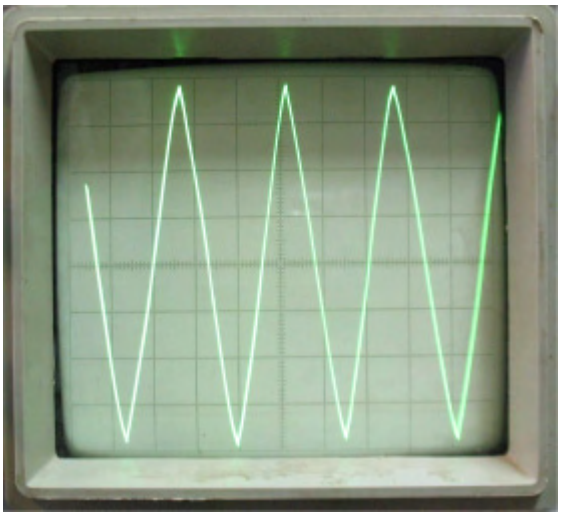
Проверялась работа схемы с рассмотренной системой управления на активно-индуктивную нагрузку.

Осциллограммы напряжений на нагрузке и основных элементах схемы приведены на рис. 4

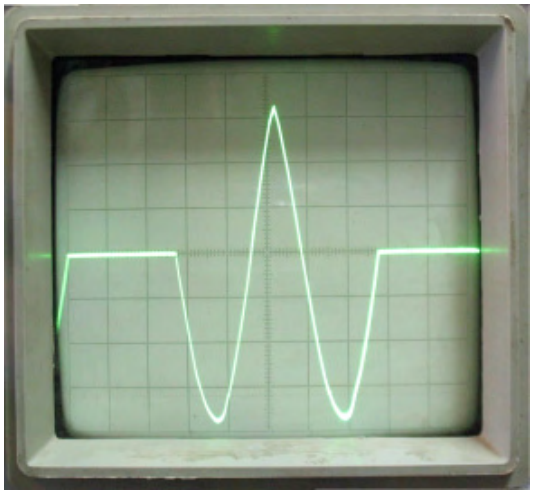
Анализ осциллограмм экспериментальной проверки показал совпадение их с теоретическими [2].



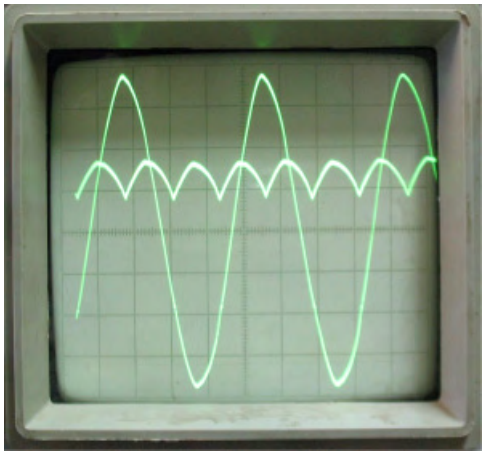
а



б



в



г

Рис. 4. Осциллограммы: а) управляющие импульсы относительно напряжения фазы «а»; б) напряжение на реакторе; в) напряжение на тиристоре; г) напряжение на нагрузке и фазы «а»

Список литературы

1. Каганов И.В. электронные и ионные преобразователи. Ч III. – М.: Энергоатомиздат, 1956. – С. 91, 132.
2. Пат. 2234183 РФ. Преобразователь трехфазного переменного напряжения в постоянное и способ управления им / Ю.С. Игольников // Открытия. Изобретения. – 2004. Опубл. 20.08.06. Бюл. №23

РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ

Пересветов М.В.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: peresvetov2307@yandex.ru

В настоящее время при освоении нефтяных и газовых месторождений широкое распространение получило кустовое бурение, так как оно позволяет повысить общий дебит месторождения, путем охвата большей территории, не прибегая к сложностям переноса бурового станка.

При кустовом бурении скважины имеют наклонно – направленный профиль (рис. 1) с участками: 1 – вертикальный; 2 – набора угла; 3 – прямолинейный участок; 4 – участок снижения угла.

В процессе производства работ для предотвращения аварийных ситуаций и более рационального использования месторождения необходимо в каждый момент времени определять ориентацию бурового инструмента, и таким образом решать задачу навигации скважины.

В настоящее время все забойные телеметрические системы, используемые в бурении, определяют ориентацию бурового оборудования относительно магнитной системы координат XYZ (рис. 2), где β – зенитный угол, γ – угол установки отклонителя. Система координат $X_1Y_1Z_1$, связанная с корпусом инклинометра, изображена на рис. 3.

В большинстве случаев процесс бурения периодически прерывается для каротажа скважины магнитными инклинометрами, что приводит к удорожанию себестоимости бурения. В редких случаях используют гироинклинометры для окончательного или промежуточного каротажа.

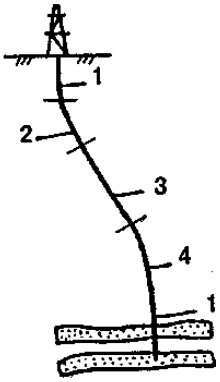


Рис. 1. Профиль-схема наклонно-направленной скважины

Используя выше указанные системы координат, определяется ориентация бурового оборудования в процессе работы и решается задача навигации скважины.

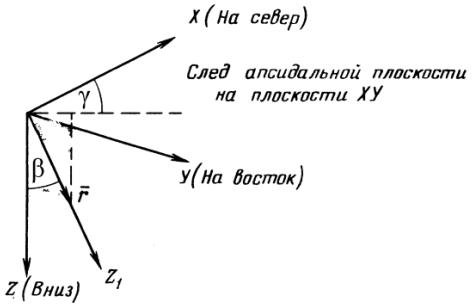


Рис. 2. Система координат, связанная с магнитным меридианом

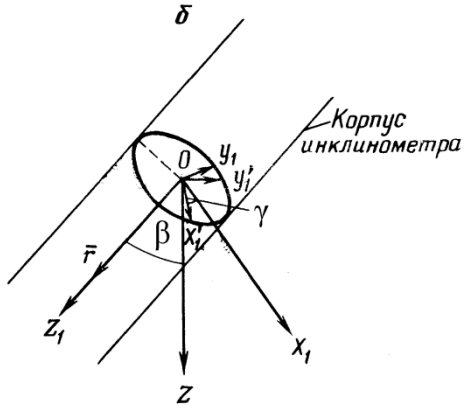


Рис. 3. Система координат, связанная с корпусом инклинометра

Целью данной статьи является рассмотрение возможности применения датчиков угловых скоростей в забойных инклинометрах, что позволит уменьшить время бурения за счет отсутствия промежуточных геологических исследований скважины и как следствие, удешевление производственного процесса.

При бурении в каждый момент времени на поверхность передаются данные об ориентации бурового оборудования для управления искривлением ствола скважины. Предварительное построение профиля уже пробуренного участка производится в определенных точках, а именно в конце каждой пробуренной свечи, когда весь инструмент находится в покое без каких-либо вибраций. В точках замера определяются три угла ориентации: зенитный угол, угол отклонителя и азимут плоскости наклонения.

В современной промышленности большое распространение получили забойные инклинометры, включающие в себя три ортогонально расположенных акселерометра и магнитометра, вычисляющие выше указанные углы по алгоритму (1).

$$\gamma = -\operatorname{arctg}\left(A_y / A_x\right);$$

$$\beta = arctg\sqrt{\left(A_x / A_z\right)^2 + \left(A_y / A_z\right)^2};$$

$$\alpha_м = arctg \frac{Bx \cdot \sin\gamma - }{Bx \cdot \cos\beta \cdot \cos\gamma + By \cdot \cos\beta \cdot \sin\gamma - \frac{-By \cdot \cos\gamma}{-Bz \cdot \sin\beta}}, \quad (1)$$

где $\alpha_м$ – азимут плоскости наклонения в СК, связанной с магнитным меридианом; $A_{x,y,z}$ – проекции гравитационного поля Земли на СК $X_1Y_1Z_1$; $B_{x,y,z}$ – проекции магнитного поля Земли на СК $X_1Y_1Z_1$.

Как известно, магнитное поле Земли подвержено искривлению вблизи металла, что приводит к погрешности определения азимута, несмотря на то, что магнитный инклинометр отстоит на определенном расстоянии от турбобура, наводящего помеху. Так же немагнитная утяжеленная труба, в которую помещается прибор, имеет свойство намагничиваться.

Предлагаемая схема забойного инклинометра основывается на том, что в приборе, помимо трех ортогонально расположенных магнитометров (M_x, M_y, M_z) и трех акселерометров (A_x, A_y, A_z), установлены три взаимоперпендикулярных ММГ в качестве датчиков угловых скоростей (D_x, D_y, D_z) (рис. 4).

Использование датчика угловой скорости (ДУС) позволит решить данную проблему по определению азимута плоскости наклонения. ДУС на основе классического гироскопа использовать в данных условия не представляется возможным в силу низких вибро- и ударопрочностных характеристик чувствительного элемента.

Современная промышленность предлагает широкий выбор вибрационных гироскопов в интегральном исполнении.

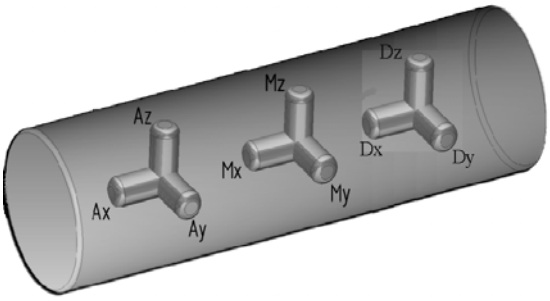


Рис. 4. Кинематическая схема блока ориентации

Микромеханические гироскопы (ММГ) обладают достаточной вибропрочностью, для использования их в забойных телеметрических системах. ММГ представляют собой сложную мехатронную систему, в которой чувствительному элементу задаются угловые или линейные колебания постоянной амплитуды в некоторой плоскости.

При вращении основания кориолисовы силы инерции вызывают колебания чувствительного элемента ММГ вокруг оси, перпендикулярной оси первичных колебаний с амплитудой, пропорциональной угловой скорости.

Эти датчики характеризуются: малыми размерами (единицы кубических сантиметров); устойчивостью к ударным воздействиям; совершенно новой в данной области, полностью автоматизированной технологией изготовления, отработанной в производстве изделий микроэлектроники. Групповая технология позволяет изготавливать одновременно партии датчиков из одной заготовки в виде пластины кремния.

Принцип работы рассматриваемой схемы инклинометра заключается в том, что в процессе бурения ориентация инструмента и управление буровым процессом производится на основе данных, полученных с акселерометров и магнитометров.

В момент снятия статического замера зенитный угол вычисляется по-прежнему по проекциям гравитационного поля Земли.

Азимут плоскости наклонения определяется в географически ориентированной СК по информации с ММГ, путем определения проекций вектора угловой скорости Земли на их оси чувствительности. После этого производится перерасчет полученного значения азимута в СК, связанную с магнитным меридианом, по алгоритму (2).

$$\alpha_м = \alpha \pm \delta, \qquad (2)$$

где α – азимут плоскости наклонения в географически ориентированной СК; δ – угол магнитного склонения в точке замера.

Для реализации данной схемы инклинометра необходимы ММГ, имеющие чувствительность на уровне 15°/ч.

Реализация выше приведенного способа решения задач ориентации и навигации бурового оборудования позволит использовать инклинометры такого типа при проводке коммуникаций под естественными и искусственными препятствиями, где искажение магнитного поля Земли может быть значительно выше, за счет близ лежащих коммуникаций.

Список литературы

1. Евстифеев М.И. Состояние разработок и перспективы развития микромеханических гироскопов. – Навигация и управление движением.– Спб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2000. – С. 54–71.
2. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987. – 216 с

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В АВИАЦИОННОМ ТОПЛИВЕ

Потудинский А.А.

Научный руководитель: Логвинов Л.М., д.т.н., профессор

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: redguy@mail.ru

Интенсивное развитие современной авиационной техники диктует особые требования к качеству используемых горюче-смазочных материалов (ГСМ), от которых зависит безаварийная эксплуатация и долговечность работы. В частности, в настоящее время очень высокие требования предъявляются к авиационным горюче-смазочным материалам таким, как авиационный керосин, содержащий жидкость «И» (моноэтиловый эфир этиленгликоля). Так, содержание растворенной влаги в авиационном керосине не превышает 0,01 % от общей массы керосина. Добавка жидкости «И» увеличивает объемную долю растворенной влаги. Жидкость «И» связывает растворенную влагу, не давая ей образовывать капли (эмульсию). Сегодня нет экспресс-метода определения объемной доли жидкости «И» в авиационном керосине. Актуальность этого вызвана тем, что при хранении топлива, содержащего жидкость «И», нельзя допускать накопление водного слоя под топливом, так как присадка растворяется в воде лучше, чем в топливе. Если жидкость «И» введена в топливо за месяц или более до его применения, необходимо непосредственно перед подачей топлива на заправку авиационной техники проверить, сколько в нем содержится жидкости «И», не потеряна ли она

с водным отстоем. Важно также определять сортность жидкости «И» – обводненную присадку (больше 0,6 %) применять нельзя, она может внести в топливо избыточную влагу и вызвать образование кристаллов. Также важным с точки зрения безопасности полетов авиации является определение наличия взвешенной влаги (в виде мельчайших капель) в авиационном керосине [1].

Для автоматического контроля микроконцентраций гигроскопической, сорбированной и кристаллизационной воды в ГСМ предлагается использовать метод кулонометрического титрования реактивом Фишера, который реализован в аппарате «АКВА-901», разработанном в ОНИЛ-16 СГАУ.

В состав устройства входят:

• источник стабильного постоянного тока, обеспечивающий генерацию йода в ячейке;

• амперометрическая измерительная система, определяющая проводимость реактива;

• электролитическая ячейка, в которую вмонтированы генераторные электроды;

• индикаторная система, с помощью которой можно следить за ходом титрования и установить момент окончания титрования;

• магнитная мешалка.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

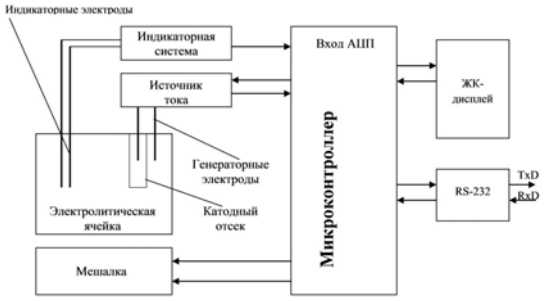


Рис. 1.Структурная схема анализатора АКВА-901

Принцип работы устройства заключается в реализации электрохимического титрования по методу Карла Фишера. Определение содержания воды основано на окислении двуокиси серы йодом в присутствии воды [2,3]:

$$I_2 + SO_2 + 2H_2O \leftrightarrow 2HI + H_2SO_4 \qquad (1)$$

В пробе анализируемого вещества, смешанного с безводным растворителем, например метанолом, воду титруют реактивом, содержащим йод, двуокись серы, пиридин и метанол. Окислительно-восстановительная реакция протекает в два этапа:

$$I_2 + SO_2 + 3C_5H_5N + H_2O \rightarrow 2C_5H_5NH^+I^- + C_5H_5N \cdot SO_3$$

$$C_5H_5N \cdot SO_3 + CH_3OH \rightarrow C_5H_5NH^+CH_3SO_4^- \qquad (2)$$

Вода непосредственно не реагирует с йодом, а наряду с метанолом служит источником ионов кислорода.

Существует еще одна особенность. Реакция требует наличие свободного йода, а в рабочем растворе его нет, поскольку ионы йода связаны ионами метанола. Пропуская ток через этот раствор, свободный йод генерируется путем окисления ионов I^- на аноде:

$$2I^- - 2e \rightarrow I_2, \qquad (3)$$

который уже может реагировать с другими компонентами раствора.

Измерение количества электричества, израсходованного при электролизе, позволяет определить количество прореагировавшего вещества. Если при электролизе через раствор протекает Q кулонов, то по закону Фарадея количество прореагировавшего вещества m (г) равно:

$$m = \frac{QM}{nF} \qquad (4)$$

где M – формульная масса окисляющегося или восстанавливающегося компонента; Q – количество электричества; n – число электронов, принимающих участие в электропревращении одного атома, иона или молекулы вещества; F – число Фарадея.

Кулонометрическое титрование отличается высокой точностью и большой чувствительностью. Метод характеризуется также быстротой, не требует высокой квалификации оператора. При использовании этого метода отпадает необходимость в стандартизации растворов и приготовлении калибровочных графиков по образцам с известным содержанием определяемого вещества.

В данном устройстве реализовано биамперометрическая индикаторная система с двумя электродами [4].

При кулонометрическом титровании через раствор пропускается стабилизированный ток строго определенной величины. Поэтому для определения количества электричества достаточно измерить лишь время титрования. При этом точность определения количества оттитрованной воды зависит от погрешности определения конечной точки титрования. Данная погрешность имеет систематическую составляющую, определяемую параметрами преобразователя тока в напряжение, и случайную, определяемую флуктуациями напряжения на индикаторных электродах, обусловленными неравномерностью обтекания электродов реактивом. Систематическая погрешность автоматически компенсируется, с помощью специальных алгоритмов коррекции.

Для снижения влияния флуктуаций напряжения индикаторных электродов на результаты измерения было предложено использовать интегрирующее звено, позволяющее проводить аппаратное или программное усреднение измерительного сигнала. Проведённые эксперименты показали, что применение такого звена позволяет сглаживать флуктуации напряжения на индикаторных электродах (рис. 3, 4).

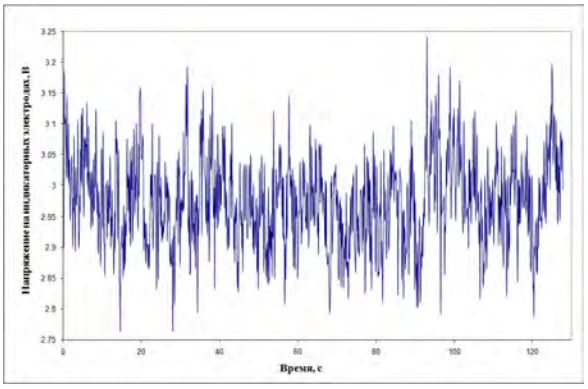


Рис. 3. Напряжение на индикаторных электродах без интегрирующего звена

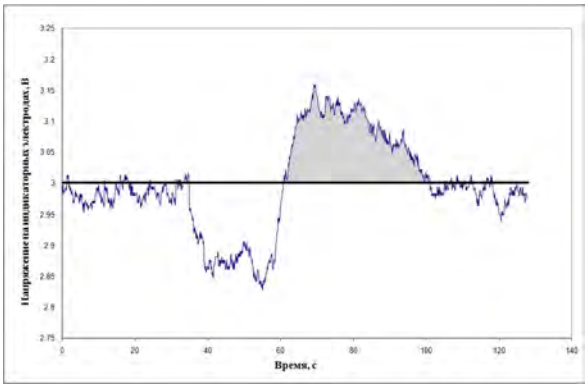


Рис. 4. Напряжение на индикаторных электродах с большой постоянной времени интегрирующего звена

Однако увеличение постоянной времени интегрирующего звена приводит к снижению быстродействия измерительной системы. При этом происходит перетитрование, закрашенная область на рис. 4, что ведёт к увеличению погрешности определения концентрации воды.

В результате экспериментов было определено оптимальное значение постоянной времени, которое обеспечило более точное определение конечной точки титрования и снижение относительной погрешности до 15% в диапазоне от 10 до 1000 мкг/мл.

Список литературы

1. Суслин М.А. Микроволновый контроль авиационных ГСМ / М.А. Суслин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 120 с.
2. Riedel-de Haen Eugen Scholz Reagents for Karl Fischer Titration. Hydranal – manual / Riedel-de Haen // Seelze, 1995. – 129 с.
3. Ничуговский Г.Ф. Определение влажности химических веществ / Г.Ф. Ничуговский – Л.: Химия, 1977. – 200 с.
4. Ничуговский Г.Ф. Электрохимические методы измерения влажности / Г.Ф. Ничуговский – СПб.: Янус, 2005. – 170с.

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Пущин И.А., Миляев Д.В.

Научный руководитель: Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pushchin@vtomske.ru

Влажность древесины является важным технологических параметров в деревообрабатывающей промышленности, так как определяет качество и долговечность выпускаемой продукции. Проблема измерения влажности является чрезвычайно актуальной и требует новых идей и новых методов измерения. Особенно остро стоят вопросы точности измерений. Чтобы создать удобный, легкий в эксплуатации, надежный и достаточно точный прибор для измерения влажности, необходимо детальное рассмотреть объект измерения и современные научные теории, объясняющие наличие тех или других свойств влажной древесины.

Под влажностью древесины понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе сухой древесины: $W = (m – m_0) / m_0 * 100$, где m – начальная масса образца древесины, г, а m_0 – масса образца абсолютно сухой древесины, г.

Измерение влажности осуществляется прямыми или косвенными методами. Прямые методы основаны на выделении тем или иным способом воды из древесины, например, высушиванием. Различают две формы воды, содержащейся в древесине: связанную и свободную. Связанная вода находиться в клеточных стенках, а свободная содержится в полостях клеток и межклеточных пространствах. Связанная вода удерживается в основном физико-химическими связями, изменение ее содержания существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая только механическим связями, удаляется легче, чем связанная вода, и оказывает меньшее влияние на свойства древесины.

При испытаниях с целью определения показателей физико-механических свойств древесины ее кондиционируют, приводя к нормализованной влажности. Если нет особых примечаний, то показатель равен 12%. На практике по степени влажности различают древесину:

- мокрую, W > 100%, длительное время находившуюся в воде;
- свежесрубленную, W = 50–100%, сохранившую влажность растущего дерева;
- воздушно-сухую, W = 15–20%, выдержанную на открытом воздухе;
- комнатно-сухую, W = 8–12%, долгое время находившуюся в отапливаемом помещении;
- абсолютно-сухую, W = 0, высушенную при температуре t=103±2°C.

Прямым методом измерения влажности является сушильно-весовой, этот метод наиболее точен, но трудоемок. К косвенным методам измерения влажности относятся: кондуктометрический, емкостной, диэлькометрический, сверхвысокочастотный, инфракрасный. Влагомеры, работающие по косвенным методам, измеряют не саму влажность, а физический параметр с ней связанный, и переводят измеренную величину в значение влажности. Косвенные методы требуют предварительной градуировки с целью установления зависимости между влажностью материала и измеряемой величиной. Самыми распространёнными методами измерения влажности являются: кондуктометрический и диэлькометрический.

Самым точным на данный момент является весовой метод. Он относится к прямым методам. Данный метод заключается в звешевании образца древесины до и после высушивания. Главным достоинством этого метода является высокая точность измерение влажности, точность может достигать порядка 0.1–0.01%, при любой влажности древесины, но у него имеются и существенные недостатки. Главным недостатком является большое время измерения, время преобразования может достигать от нескольких часов до нескольких дней, так же измеряется средняя влажность дерева и невозможно определить в каком месте влажность больше а где меньше.

В настоящее время наибольшее распространение получил метод измерения влажности древесины по электрическому сопротивлению (кондуктометрический). В пиломатериал втыкаются электроды (иголки, штыри), влагомер измеряет электрическое сопротивление древесины и определяет влажность древесины по заданным зависимостям электрического сопротивления разных пород дерева от влажности и температуры.

Точность метода невысока, примерно: +/–1% для влажности до 12%; +/–2% для влажности от 12% до 30%, свыше 30% точность измерения не нормируется. Тем не менее, применение кондуктометрического способа измерения влажности древесины вполне оправдано: во-первых, по мере уменьшения влажности точность измерений возрастает, во-вторых, значительную часть погрешности измерения составляет систематическая ошибка (все измерения отличаются от верных значений на постоянную величину), следовательно, при определении разности влажности отдельных досок (повышенные требования предъявляются к разбросу влажности отдельных элементов изделия) ошибка будет намного меньше.

В документации на влагомеры древесины некоторые фирмы указывают точность измерения 0,1%. Это точность измерения эталонных образцов, точность этих влагомеров при измерении древесины будет той же, что приведена в предыдущем абзаце.

Второй бесконтактный метод, основан на измерение диэлькометрической проницаемости материала – затухании электромагнитных волн в зависимости от степени влажности материала. Приборы этой группы имеют неконтролируемую глубину измерения (4–6 см), результатом чего является некая средняя влажность, но при этом не портится внешний вид поверхности. Они имеют высокую чувствительность при невысоких значениях влажности (от 1–2%), возможность обнаружения переувлажненных участков под покрытиями, например под кафельной плиткой, могут контролировать влажность сыпучих материалов. К сожалению, такими прибором нельзя точно померить влажность свыше 50–60%, т. к. свыше этого диапазона погрешность их измерений не нормируется.

При описании инфракрасных гигрометров уже отмечалась возможность использования характерных линий поглощения воды при измерении влажности воздуха. Этот метод применим также и при измерении влажности материалов. При определении влагосодержания материалов применяется метод измерения отражаемого его поверхностью излучения, позволяющий определять влагосодержание только поверхностного слоя. Этот недостаток устраняется при измерении влажности сыпучих материалов путем разрыхления пробы непосредственно перед входом измерительной ячейки.

К достоинствам этого бесконтактного метода определения влажности относятся высокая селективность по отношению к воде, незначительное влияние температуры, плотности и состава пробы на результат измерения; к недостаткам – влияние распределения влаги в различных по толщине слоях материала, в зернах разного размера.

Последний один из наиболее распространенных косвенных методов определения влажности является емкостной метод. Данный метод основан на измерении емкости конденсатора, в котором образец древесины используется в качестве диэлектрика. Емкостной метод измерения влажности в последнее время становятся всё более распространенным. Датчики на его основе не дороги, просты в эксплуатации и обеспечивают высокую чувствительность, однако точность невысока примерно: +/–2%, а также зачастую выставляют высокие требования к форме и габаритам древесины, поэтому применяется чаще на финальных стадиях производства.

Все перечисленные методы имеют свои достоинства и недостатки, но главная проблема всех методов измерения влажности древесины заключается в следующем: получение высокой чувствительности при высокой точности прибора и уменьшение времени измерения влажности. Ни один метод не удовлетворяет эти требования, причем некоторые методы в принципе не позволяют повысить чувствительность, однако косвенные методы имея высокую чувствительность обладают

малой точностью и/или большим временем измерения. Главной целью является усовершенствование существующих методов измерения влажности для повышения порогов чувствительности и точности.

Так же при контроле влажности древесных материалов нужно учесть несколько факторов влияющих на показания приборов. Показания прибора будут разными при измерении вдоль волокон и поперек волокон. Это связано с различной диэлектрической проницаемостью древесины в этих направлениях. На показания прибора может влиять наличие сучков и трещин. Поскольку прибор измеряет влажность только в месте установки датчика, то достоверные результаты могут получиться только при осреднении результатов по всей поверхности измеряемого материала. Это следует учитывать, при сравнении показаний влажности полученных сушильно-весовым методом (т.е. по всему материалу) и единичных измерений прибором. Также следует помнить, что при измерении влажности толстых пиломатериалов показания прибора могут отличаться с разных сторон материала. Это связано с тем, что наиболее сильно на показания прибора влияют близлежащие к поверхности датчика слои, которые могут иметь с разных сторон различную влажность.

Список литературы

1. Музалевский В.И. Измерение влажности древесины. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 120 с.
2. http://www.gsi.ru/catalog.php?id=82
3. http://www.1kipia.ru/pages/kip23.html
4. http://www.redert.ru/Ngg.htm

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ СКС10.02 НА ОАО «ЗАВОД БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ» Г. ОРЕНБУРГ

Сазанакова Т.Н.

Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sazanakova1983@mail2000.ru

Качество и эффективность буровых работ, проводимых в различных производственных сферах, в большой мере зависят от качества используемого бурового оборудования и в том числе бурильных труб.

Важное место в обширной номенклатуре бурильных труб занимают трубы бурильные стальные с приваренными замками (универсальные ТБСУ, облегченные ТБСО, тяжелой серии ТБСТ и другие). Конструктивно такие трубы состоят из трех элементов: тела трубы и двух замков – муфты и ниппеля, приваренных к телу трубы методом сварки трением (рис. 1).

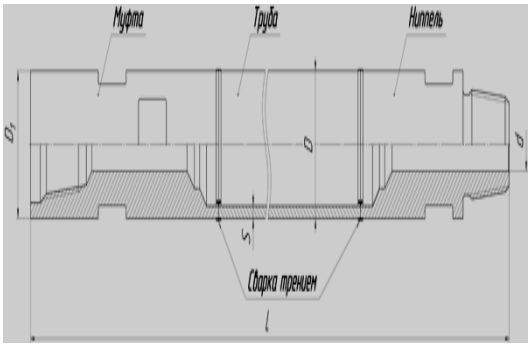


Рис. 1. Общий вид бурильной трубы

Основными параметрами бурильных труб, контролируемыми в процессе производства, являются: геометрические размеры бурильных труб; отсутствие дефектов; геометрические параметры резьбы; соосность приварных замков и трубы; кривизна (отклонения от прямолинейности) трубы; механические свойства тела трубы и сварного соединения, качество карбонитрации приварного замка.

Бурильная труба представляет собой сложную конструкцию и характеризуется большим количеством параметров, которые необходимо контролировать в процессе производства.

Контроль на всех стадиях производства бурильных труб очень трудоемкий. Также большое влияние оказывает субъективный фактор, поэтому необходима автоматизация контроля. В последнее время наблюдается тенденция ужесточения требований потребителей технического контроля, к повышению эффективности и достоверности результатов, а также к документированию процесса и результатов контроля. Разработанная на кафедре ИИТ ТПУ группой разработчиков новая система контроля соосности СКС 10.02 отвечает всем вышеперечисленным требованиям (рис. 2).

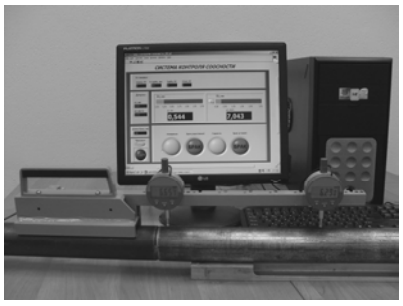


Рис. 2. Система контроля соосности СКС 10.02

Целью данной работы является определение эффективности использования системы контроля соосности на предприятии по производству бурового инструмента.

Важной характеристикой сварных соединений бурильных труб, в значительной мере определяющей трудоемкость и точность бурения, срок службы бурового оборудования, является соосность приварных замков и тела трубы. Согласно [1] отклонение от соосности приварных замков и трубы не должно превышать 0,3 мм у сварного шва и 0,1 мм на 100 мм длины детали приваренного замка у ее торца.

Система контроля соосности предназначена для измерений параллельного и углового отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб, и представляет собой программно-аппаратный комплекс для обеспечения удобства ввода, обработки информации, документирования результатов измерений соосности и расчета требуемых отклонений от заданных параметров.

Функциями системы контроля являются:

• измерение значений параллельного и углового отклонений от соосности сварного соединения;

• сравнение измеренных значений отклонений с предельно допустимыми;

• индикация результатов измерения и контроля;

• хранение результатов контроля и их передача на рабочее место диспетчера через информационную сеть цеха.

• Система контроля соосности является переносной системой и состоит из блока измерения, блока электронного, монитора, клавиатуры, проводной мыши, соединительного кабеля (рис. 3).

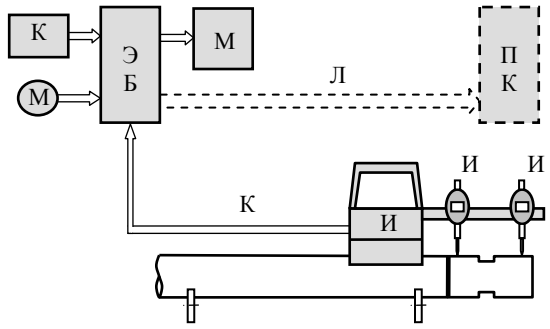


Рис. 3. Структурная схема системы контроля соосности СКС 10.02: ИБ – измерительный блок; $И_1$, $И_2$ – индикаторы часового типа: ЭБ – электронный блок; Кл – клавиатура; М – мышь; Мр – монитор; КС – кабель связи; ЛС – локальная сеть; ПК – персональный компьютер диспетчера

Принцип действия системы контроля заключается в измерении при вращении трубы двумя индикаторами часового типа радиальных биений замковой части трубы относительно оси тела трубы в двух сечениях, первое из которых расположено вблизи сварного соединения, а второе – вблизи торца замковой части трубы. Параллельное *a1*, мм и угловое *a2*, мм/100 мм отклонения от соосности определяются по формулам:

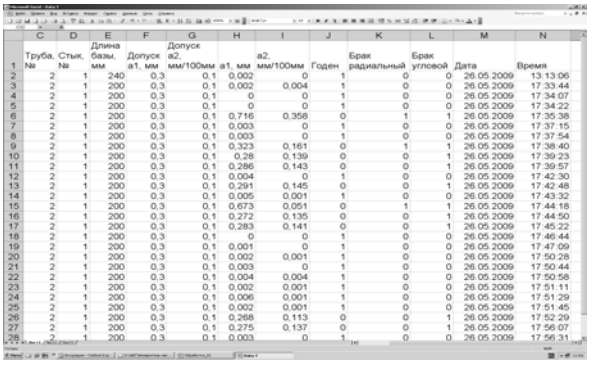
$$a_1 = \frac{\delta_1}{2}; \quad a_2 = \frac{(\delta_2 - \delta_1)\cdot 100}{2A},$$

где δ_1 – биение в сечении 1, мм; δ_2 – биение в сечении 2, мм; A – расстояние между сечениями, мм.

Измеренные значения отклонений от соосности *a1* и *a2* сравниваются с их предельно допустимыми значениями. Результаты контроля выводятся на индикатор, сохраняются в памяти системы контроля и передаются в информационную сеть.

После внедрения системы контроля на Заводе бурового оборудования в г. Оренбург, система контроля прошла успешные испытания и принята в эксплуатацию.

Совершенствование процессов управления, а также создание новой конструкции системы контроля, учитывающие все недостатки старой модели, стало результатом надежной и простой в эксплуатации системы контроля, что способствовало многочисленным положительным отзывам от работников завода. За период эксплуатации система контроля зарекомендовала себя отличной работой, в том числе сбоев в работе обнаружено не было. Кроме всего прочего, хочется отметить доступность и наглядность считывания информации. Так, например, любой желающий может просмотреть данные результатов контроля соосности, которые автоматически сохраняются в файле «Протокол», и имеют следующие изменяемые параметры: № трубы, № стыка, длина базы, допуск параллельного отклонения a1, допуск углового отклонения a2, измеренное значение параллельного отклонения a1, измеренное значение углового отклонения a2, наличие годности, наличие брака параллельного, наличие брака углового, дата проведения контроля и время проведения контроля (рис. 4).



	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Труба, №	Стык, №	Длина базы, мм	Допуск a1, мм	Допуск a2, мм/100мм	a1, мм	a2, мм/100мм	Годен	Брак радиальный	Брак угловой	Дата	Время
2	2	1	240	0,3	0,1	0,002	0	1	0	0	26.05.2009	13:13:06
3	2	1	200	0,3	0,1	0,002	0,004	1	0	0	26.05.2009	17:33:44
4	2	1	200	0,3	0,1	0	0	1	0	0	26.05.2009	17:34:07
5	2	1	200	0,3	0,1	0	0	1	0	0	26.05.2009	17:34:22
6	2	1	200	0,3	0,1	0,716	0,358	0	1	1	26.05.2009	17:35:38
7	2	1	200	0,3	0,1	0,003	0	1	0	0	26.05.2009	17:37:15
8	2	1	200	0,3	0,1	0,003	0	1	0	0	26.05.2009	17:37:54
9	2	1	200	0,3	0,1	0,323	0,161	0	1	1	26.05.2009	17:38:40
10	2	1	200	0,3	0,1	0,28	0,139	0	0	1	26.05.2009	17:39:23
11	2	1	200	0,3	0,1	0,286	0,143	0	0	1	26.05.2009	17:39:57
12	2	1	200	0,3	0,1	0,004	0	1	0	0	26.05.2009	17:42:30
13	2	1	200	0,3	0,1	0,291	0,145	0	0	1	26.05.2009	17:42:48
14	2	1	200	0,3	0,1	0,005	0,001	1	0	0	26.05.2009	17:43:32
15	2	1	200	0,3	0,1	0,673	0,051	0	1	1	26.05.2009	17:44:18
16	2	1	200	0,3	0,1	0,272	0,135	0	0	1	26.05.2009	17:44:50
17	2	1	200	0,3	0,1	0,283	0,141	0	0	1	26.05.2009	17:45:22
18	2	1	200	0,3	0,1	0	0	1	0	0	26.05.2009	17:46:44
19	2	1	200	0,3	0,1	0,001	0	1	0	0	26.05.2009	17:47:09
20	2	1	200	0,3	0,1	0,002	0,001	1	0	0	26.05.2009	17:50:28
21	2	1	200	0,3	0,1	0,003	0	1	0	0	26.05.2009	17:50:44
22	2	1	200	0,3	0,1	0,004	0,004	1	0	0	26.05.2009	17:50:58
23	2	1	200	0,3	0,1	0,002	0,001	1	0	0	26.05.2009	17:51:11
24	2	1	200	0,3	0,1	0,006	0,001	1	0	0	26.05.2009	17:51:29
25	2	1	200	0,3	0,1	0,002	0,001	1	0	0	26.05.2009	17:51:45
26	2	1	200	0,3	0,1	0,268	0,113	0	0	1	26.05.2009	17:52:29
27	2	1	200	0,3	0,1	0,275	0,137	0	0	1	26.05.2009	17:56:07
28	2	1	200	0,3	0,1	0,003	0	1	0	0	26.05.2009	17:56:31

Рис. 4. Данные результата контроля в файле «Протокол»

Данные, представленные в файле «Протокол» можно анализировать по различным критериям. Например, подсчитать процент бракованных труб по отношению к общему количеству измерений или только за одну рабочую смену, вывести графики параллельной и угловой несоосности (рис. 5, 6).

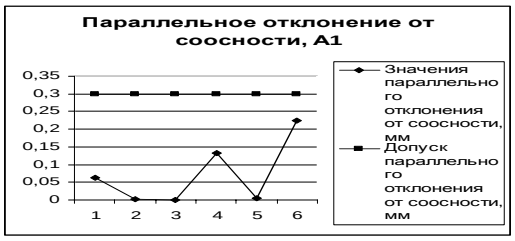


Рис. 5 Параллельное отклонение от соосности, А1

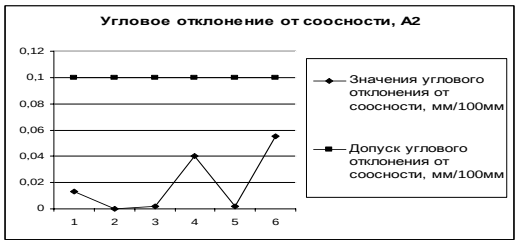


Рис. 6. Угловое отклонение от соосности, А2

Хотелось бы отметить, что технические и метрологические характеристики полностью удовлетворяют рабочий персонал. Система контроля соосности отличается удобным меню, удобным видом отображения измерительной информации. Более того, новая система контроля помогает увеличить продуктивность производственного процесса контроля благодаря точности и высокой скорости измерений, снижается временная длительность цикла проверки соосности бурильной трубы.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51245-99 «Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия».
2. Трубы нефтегазового сортамента. Международный транслятор-справочник / под ред. Р.И. Вяхирева, В.Я. Кершенбаума. – М.: Наука и техника, 1997. – 340 с.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ КАРОТАЖНОГО КАБЕЛЯ

Силкина М.В

Научный руководитель: Уразбеков Е.И.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2
E-mail: silkina.m@mail.ru

Каротажные кабели применяют для питания электроэнергией скважинных приборов, а также используют в качестве каналов информационной связи между наземной регистрирующей аппаратурой и скважинными приборами. Они служат для спуска и подъема скважинных приборов. Каротажные кабели используют также для определения глубины нахождения прибора в скважине. Для этого измеряется длина кабеля, спускаемого в скважину.

Существуют различные методы измерения длины кабеля, такие как электромеханитечский, фотоимпульсный, корреляционный, методы с использованием меток, метод с использованием ЛДИС. На практике чаще всего применяют контактный электромеханический метод и бесконтактный метод с использованием магнитных меток.

Структурная схема контактного электромеханического метода изображена на рис. 1. Этот метод заключается в следующем. Измерительный цилиндрический ролик 2, вращаемый на оси, прижимается к изделию 1 и обкатывает его при поступательном движении. С роликом жестко связан импульсный датчик 3, который выдает определенное число импульсов на один оборот ролика – это сельсин. Импульсы поступают на электронный счетчик 4. Число импульсов пересчитывается в метры длины кабеля.

Главными недостатками этого метода являются износ поверхности измерительного ролика, а также проскальзывание кабеля.

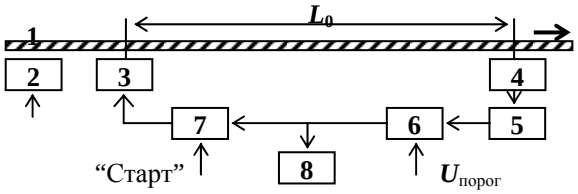


Рис. 1 Структурная схема, где 1 – контролируемое изделие, 2 –измерительный ролик, 3 – импульсный датчик, 4 – электронный счетчик

Следующий метод – бесконтактный с использованием магнитных меток. Структурная схема измерителя, реализующего представленный метод, показана на рис. 2.

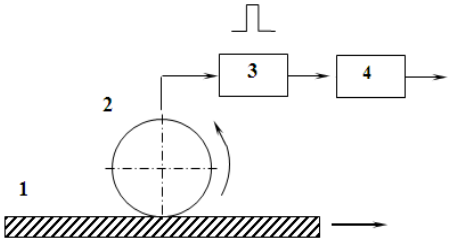


Рис. 2 Структурная схема измерителя длины, использующего метод магнитных меток: 1) изделие; 2) стирающий электромагнит; 3) записывающий электромагнит; 4) магнитомодуляционный преобразователь; 5) схема включения преобразователя; 6) пороговое устройство; 7) формирователь импульса записи; 8) вычислительный блок

Способ измерения длины кабеля методом магнитных меток заключается в нанесении на движущееся изделие 1 импульсным электромагнитом 3 магнитных меток, считывании этих меток расположенным на фиксированном расстоянии от электромагнита магнитным преобразователем 4, нанесении каждой последующей метки в момент считывания предыдущей, подсчете числа считанных магнитным преобразователем магнитных меток, и определении длины изделия путем умножения числа посчитанных магнитных меток на базовое расстояние.

$$L_X = N \cdot l_b,$$

где Lx – неизвестная длина; N – число считанных меток; l_b – базовое расстояние.

Для измерения длины каротажного кабеля чаще всего применяют именно этот метод, так как он бесконтактный, у него высокая производительность, наименьшая энергозатратность, высокая точность; не возникают проблемы с проскальзыванием и износом оборудования.

Недостаток этого метода в том, что каротажный кабель, спускаемый в скважину под действием собственного веса, веса прибора растягивается и удлиняется, следовательно, возникает погрешность измерения длины.

С целью уменьшения погрешностей измерения длины требовалось размечать кабель с более точной коррекцией по типам, весу скважинного прибора, температуре в скважине и скорости каротажа. Для этого была разработана установка автоматической разметки кабеля с применением ведущего и ведомых микроконтроллеров, позволяющих хранить исходные данные и управлять процессом разметки. К исходным данным относятся физические параметры кабеля по типам, корректирующие функции длины мерной базы в зависимости от типа размечаемого кабеля, веса скважинного прибора и плотности скважинной жидкости. Установка позволяет производить разметку как при постоянной мерной базе с натяжением кабеля с введением коррекции, так и при переменной мерной базе, регулируемой автоматически, с постоянной нагрузкой на кабель, небольшой для обеспечения безопасности работ и достаточной для плотной укладки кабеля на барабане лебедки. В табл. 1 приведен вид функций коррекции для установки с пятиметровой мерной базой.

Также причиной недостаточной точности определения длины каротажного кабеля по данному методу, при условии корректного проведения разметки троса, является действие помех при считывании магнитных меток. Их действие приводит к появлению ошибок измерения двух видов:

- пропуск меток или считывание ложных меток;
- флюктуация точки обнаружения l_0 магнитной метки считывающим устройством.

Задачи минимизации указанных ошибок при измерении длины каротажного кабеля эквивалентны задачам обнаружения сигнала и оценки его параметров, решаемых при синтезе приемника в теории связи.

Таблица 1

Функции коррекции

№	Тип кабеля	Вес прибора, кг	Плотность скважинной жидкости, кг/см^2	Формула изменения 5-метровой мерной базы, мм, где x – текущая длина кабеля (до 5 км), м
1	КГ 1х1,5 – 55 – 130 диаметр 8,9	30	1000	y=–0,0068x–0,3897
2			1250	y=–0,0061x–0,3805
3			1500	y=–0,0053x–0,3723
4			1750	y=–0,0046x–0,3642
5			2000	y=–0,0039x–0,3591
6		50	1000	y=–0,0068x–0,6230
7			1250	y=–0,0061x–0,6133
8			1500	y=–0,0053x–0,6046
9			1750	y=–0,0046x–0,5979
10			2000	y=–0,0039x–0,5913
11		70	1000	y=–0,0068x–0,8561
12			1250	y=–0,0061x–0,8359
13			1500	y=–0,0053x–0,8377
14			1750	y=–0,0046x–0,8306
15			2000	y=–0,0039x–0,8245

В теории связи количественно оценивают частость появления ошибок первого вида вероятностью ошибки $P_{ош}$, а ошибки второго вида – среднеквадратическим отклонением точки обнаружения метки $\sigma(l_0)$ от ее истинного положения.

В качестве нижней оценки вероятности ошибки при считывании магнитных меток может быть принято значение

$$P_{ош} = 0{,}5\left[1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{h^2}{2}}\right)\right]$$

где Ф(x) – интеграл вероятности; $\frac{h^2}{2} = \frac{E}{N_0}$ – отношение сигнал/шум на входе считывающего устройства; E – энергия сигнала, эквивалентная магнитной метке; N_0 – спектральная плотность помех.

Нижняя оценка среднеквадратического отклонения точки обнаружения метки $\sigma(l_0)$ от ее истинного положения

$$\sigma(l_0) = \frac{l_m}{h^2}$$

где l_m – протяженность магнитной метки, нанесенной на каротажный кабель.

Таким образом, для уменьшения ошибок связанных с пропуском или считыванием ложных меток, а также флюктуацией точки обнаружения магнитной метки, необходимо применять магнитные метки с большей эквивалентной энергией E. Увеличение эквивалентной энергии метки, связанное с простым увеличением степени намагниченности в месте нанесения магнитной метки, имеет предел, поэтому единственным, достижимым в настоящее время решением, обеспечивающим увеличение эквивалентной энергии E метки и,следовательно, повышение точности определения длины кабеля является применение составных

меток. Каждая составная метка представляет собой последовательность из n магнитных импульсов разной степени напряженности, протяженность каждого из импульсов соответствует длине l_m магнитных импульсов.

А для уменьшения ошибок, связанных с удлинением каротажного кабеля, необходимо вводить функции коррекции по типу кабеля, по весу скважинного прибора, температуре в скважине и скорости каротажа.

Список литературы

1. Уразбеков Е.И. Метод измерения длины стальных канатов с помощью нанесения магнитных меток: Сборник трудов 12 конференции СТТ ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.–Т. 1. – С. 135–138.
2. Лобанков В., Гарейшин З., Подковыров А. Метрологическое обеспечение инклинометрии и глубинометрии нефтегазовых скважин // Бурение и нефть. – 2005. – С. 26–27.
3. Криволапов Г.И. Пути повышения точности определения глубины спуска скважинного прибора // Труды школы-семинара «Физика нефтяного пласта». – Новосибирск: 2002. – С. 171–174.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ МНОГОПАРАМЕТРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ АЭСА

Слептерев В.А., Глазырин А.В.

Научный руководитель Кузнецов А.А., д.т.н., профессор

Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г.Омск, пр. Маркса, 35
E-mail: SlepterevVA@omgups.ru

Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА) широко используется для определения марок различных сплавов на основе меди, алюминия, железа и др. Обладая высокой чувствительностью и пределами обнаружения примесей легирующих элементов, АЭСА является не устойчивым во времени, основной причиной чего является нестабильность генераторов спектрального излучения. Одним из способов создания спектрального излучения, широко используемого на практике остаются электрические генераторы дугового или искрового разрядов между двумя электродами, один из которых – анализируемая проба, другой – вспомогательный противоэлектрод.

Для проведения анализа количественного состава, выполняют предварительную калибровку спектрального прибора по комплектам стандартных образцов (СО) с известным составом примесей. В результате для каждого материала или группы материалов получают градуировочную зависимость в виде $C = f(I_0)$ или $\lg C = f(\lg I_0)$, где C – количественное содержание анализируемого элемента, $I_0 = I/I_{ср}$ – относительная интенсивность спектральной линии, выражаемая отношением интенсивностей спектральных линий непосредственно анализируемого элемента и линии сравнения (основы материала – *Fe* для сталей, *Cu* для бронз и латуней, *Zn* для цинковых сплавов и т. д.). Этот способ является точным, но при этом требуется систематическое построение градуировочных графиков.

В производственных условиях на процесс измерения количественного состава воздействует совокупность влияющих факторов, учесть которые вызывает определенную сложность, поскольку они носят случайный характер. К таким факторам относится изменение условий окружающей среды, несоответствие структурных особенностей стандартных образцов исследуемой пробе, влияние третьих элементов, и т. д. Под действием указанных факторов градуировочные графики изменяют свое положение, которое выражается в смещении и изменении угла наклона, в случае линейной аппроксимации.

Идея предлагаемого способа получения устойчивых градуировочных графиков заключается в использовании многопараметровых зависимостей измеренных интенсивностей спектральных линий, создании изолированных систем, и последующей корректировке измеренных параметров пробы до уровня соответствия контрольному эталону.

Для учета различных энергетических показателей спектральных линий при построении градуировочных графиков, предлагается использовать многопараметровую обработку данных.

Градуировочный график, построенный классическим методом, показан на рис. 1.

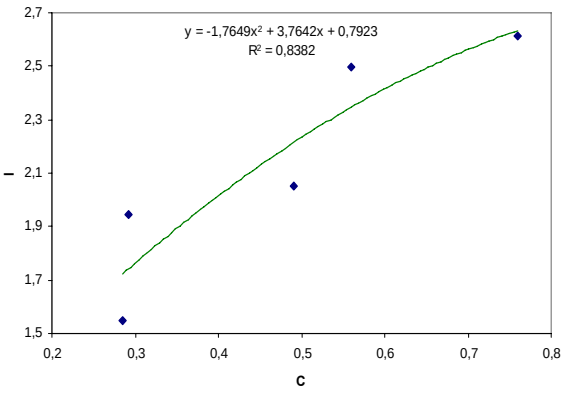


Рис. 1. Градуировочный график, построенный классическим методом

Как видно на рис. 1, измерения лежат точно на графике, погрешность аппроксимации характе-

ризуется значением R^2 = 0,838. При этом еще на этапе градуирования допускается погрешность, которая отрицательно скажется на точности последующих измерений. Особую важность данный недостаток имеет при анализах результатов, получаемых вблизи концов интервалов, рекомендованных соответствующими ГОСТ.

Если же имеется совокупность выходных характеристик $C = f(I_O, I_{OCP}, I_{ПР}, I_{ПРСР})$, где I_O и I_{OCP} – интенсивности линии элемента и линии сравнения элемента стандартного образца, а $I_{ПР}$ и $I_{ПРСР}$ – интенсивности линии элемента и линии сравнения элемента анализируемой пробы., то путем сравнения полученных выходных данных по определенным алгоритмам возникает возможность решения задач соответствия точности и достоверности на этапах градуирования по предельным интервалам.

Для построения достоверного градуировочного графика предлагается использовать многопараметровую функцию, позволяющую оценить во сколько раз интенсивность анализируемой пробы отличается от интенсивности определяемого элемента в эталоне.

$$U = \frac{tg(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{I_x}{I_{cp}})\cdot tg(\frac{\pi}{4}\cdot\frac{I_x + I_{xcp} - \Delta I}{I_{cp}})}{tg(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{I_{xcp}}{I_{cp}})\cdot tg(\frac{\pi}{4}\cdot\frac{I_x + I_{xcp} + \Delta I}{I_{cp}})}; \quad (1)$$

где I_x – скорректированная интенсивность исследуемой пробы; I_{cp} – предельно возможная интенсивность на выходе прибора; I_{xcp} – скорректированная интенсивность сравнения исследуемой пробы; ΔI – дифференциальный расчетный параметр.

По формуле (1) условия проведения эксперимента приводятся к эквивалентным. Для того, чтобы избежать влияния внешних факторов при построении графика, производится переход к изолированной системе, в которой выбирается единая точка отсчета для всех измерений. В табл. 1 показаны образцы, использующиеся для градуирования хромоникелевых сталей типа 10Х18Н9Т по Si и рассчитаные для них коэффициенты.

Таблица 1

Исходные и рассчитанные данные для градуирования

CO	C	I	Icp	Ugoc	Ugzc
лг63	0,285	1,548	7,771	–0,0104	–0,0034
лг58	0,292	1,945	8,048	–0,0002	0
лг56	0,49	2,051	7,902	0,2247	0,0789
лг57	0,56	2,496	7,549	0,2828	0,1007
лг64	0,76	2,613	6,711	0,4153	0,153

На рис. 2. показана зависимость параметров открытой системы от параметров изолированной.

По осям координат отложены Ugoc – многопараметровая функция для открытой системы с исходными значениями интенсивностей пробы и стандартного образца; Ugzc – многопараметровая функция для изолированной системы с эквивалентами значений интенсивностей пробы и стандартного образца.

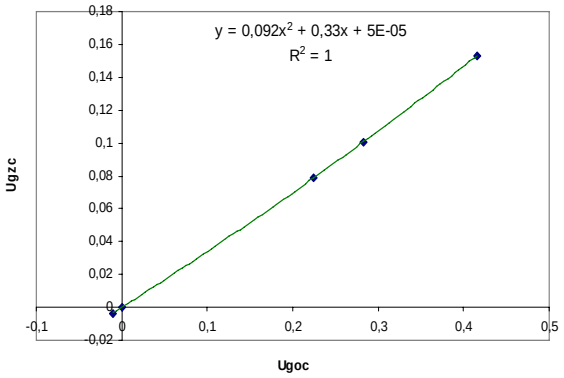


Рис. 2. Градуировочный график, построенный классическим методом

Благодаря использованию многопараметрового анализа достоверность перехода к изолированной системе стремится к единице ($R^2 \approx 1$).

Таким образом, перейдя к изолированной системе и выбрав единую точку отсчета для всех измерений, мы можем построить градуировочный график с высокой степенью достоверности (рис. 3.) и устранить действие влияющих факторов для исследуемой пробы и стандартного образца.

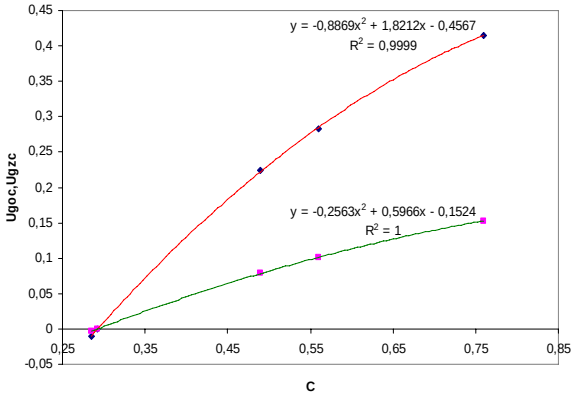


Рис. 3. Градуировочный график, построенный на основе многопараметрового анализа

Список литературы

1. Кузнецов А.А., Мешкова О.Б., Слептерев В.А., Шахов А.В. Модернизация оборудования для диагностирования и ремонта под-вижного состава: Сборник тр. междунар. научной конф. «Транспорт-2009» / Ростовский гос. ун-т путей сообщ. – Ростов н/Д, 2009.
2. Кузнецов А.А., Глазырин А.В., Слептерев В.А., Шахов А.В. Инновационные технологии в автоматизированных системах контроля качества материалов: сборник тр. научной конф. «Инновационные проекты и новые технологии для транспортного комплекса» / Омский гос. ун-т путей сообщ. – Омск, 2010.
3. Кузнецов А.А. Комплексные методы диагностирования узлов промышленных изделий подвижного состава средствами атомно-эмиссионной спектроскопии. – М.: Спутник + , 2005. – 189 с.

УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА С ПК ПО СРЕДСТВАМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОРТА USB

Стариков С.С., Шкляр Е.И., Миляев Д.В

Научный руководитель: Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: stepawa@sibmail.com, destroy@mail2000.ru

В настоящее время большинство измерительных устройств и устройств автоматики имеют интерфейс связи с ПК. Зачастую в качестве интерфейса связи выступает интерфейс RS232. Это обусловлено, прежде всего, простотой реализации данного интерфейса как аппаратно, так и программно, – большинство современных микроконтроллеров имеют встроенный UART (универсальный асинхронный приёмопередатчик).

Однако в современных ноутбуках и материнских платах ПК производители либо устанавливают один COM порт, либо вообще не устанавливают его как рудимент. В связи с этим сфера применения устройств с интерфейсом RS232 сужается. На смену интерфейса RS232 пришел интерфейс USB. Данный интерфейс отличается высокой скоростью передачи данных (до 480 Мбит/с для спецификации USB 2.0), возможностью подключения до 127 устройств и масштабируемостью с использованием хабов, высокой нагрузочной способностью порта (до 500 мА), возможностью горячего подключения/отключения. USB является промышленным стандартом расширения архитектуры PC, ориентированным на интеграцию с телефонией и устройствами бытовой электроники. Версия 1.0 была опубликована в начале 1996 г., большинство устройств поддерживает версию 1.1, которая вышла осенью 1998 г., в ней были устранены обнаруженные в первой редакции проблемы. Весной 2000 г. опубликована спецификация USB 2.0, в которой предусмотрено 40 кратное повышение пропускной способности шины.

Первоначально (в версиях 1.0 и 1.1) шина обеспечивала две скорости передачи информации: полная скорость FS (full speed) – 12 Мбит/с и низкая скорость LS (Low Speed) –1,5 Мбит/с. В версии 2.0 добавлена ещё и высокая скорость обмена HS (High Speed) – 480 Мбит/с. USB 2.0 обратно совместим с USB 1.0. Для обеспечения связи устройства с ПК по USB интерфейсу можно воспользоваться HID драйвером. При этом разрабатываемое устройство должно поддерживать протокол обмена и соответствовать спецификации HID устройств. Основным ограничением данного подхода является скорость обмена до 64 Кбит/с. Если же стандартный драйвер не подходит, необходимо разрабатывать собственный драйвер поддержки. Программное обеспечение для реализации USB соединения подразделяется на три группы:

- драйвер устройства – используется для связи с устройством на низком уровне;
- DLL библиотека – используется для связи драйвера устройства с функциями устройства, что упрощает доступ к функциям устройства из программы пользователя;
- интерфейс пользователя – предназначен для удобства работы пользователя с устройством, вызывает функции только из DLL библиотеки.

Технические характеристики:

Разрядность АЦП, дв. разрядов – 12

Минимальный период повторения

Отсчетов – 300 мкс

Интервал входных сигналов (без делителя), В (–1.25... + 1.25)

Входное сопротивление – 1 МОм

Входная емкость– 30 пф

Разработанная для работы с приставкой программа обеспечивает наблюдение осциллограмм сигналов на экране монитора при скорости временной развертки 0.3... 100 мс/дел. В режиме регистратора.

Схема приставки-АЦП изображена на рис. 1.

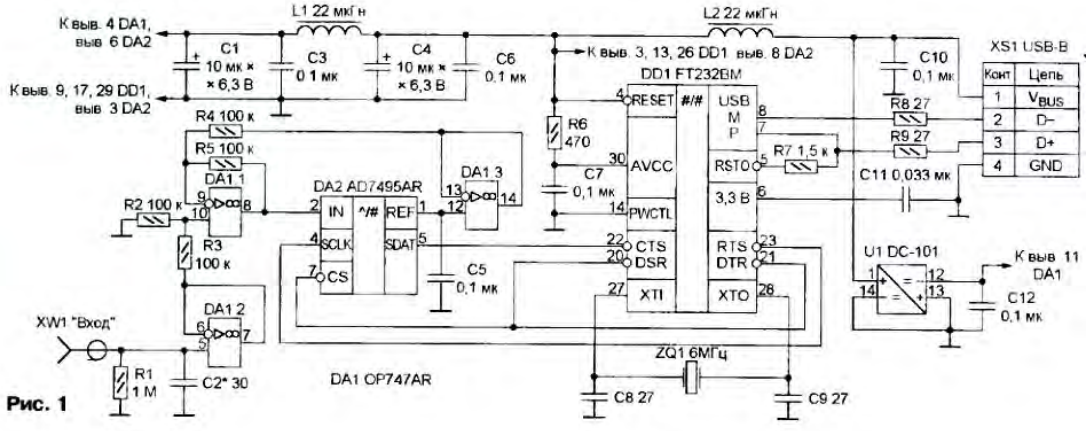


Рис. 1

Рис. 1

Исследуемый сигнал поступает на разъем XW1. На ОУ DA1.2 выполнен повторитель, а на DA1.1 узел сдвига уровня, необходимый для превращения биполярных (–1,25...+1,25 В) сигналов в однополярные (0...+2.5), которые способен обрабатывать АЦП DA2. Образцовое напряжение +2,5 В подано на узел сдвига с соответствующего выхода АЦП через повторитель на ОУ DA1.3.

Использован 12-разрядный АЦП AD7495AR с последовательным интерфейсом. Сигналом начала цикла преобразования служит смена высокого уровня на входе CS АЦП низким при высоком уровне на входе SCLK. Затем на вход SCLK подают 16 импульсов низкого уровня. На выходе SDAT в ответ на четыре первых импульса будет установлен низкий уровень, а на каждый из 12 последующих уровень, соответствующий значению очередного разряда результата преобразования, начиная со старшего. Завершают цикл установкой высокого уровня на входе CS.

Для передачи результат преобразования в компьютер применен интерфейс USB, реализуемый с помощью микросхемы FT232BM преобразователя USB–RS-232. Эта микросхема способна работать в режиме Bit Bang [4], в котором линии ее порта RS-232 образуют восьмиразрядную параллельную шину данных с индивидуальной настройкой разрядов на ввод или вывод. Программную поддержку режима Bit Bang в компьютере обеспечивает драйвер D2XX [5], бесплатно распространяемый разработчиками микросхемы.

Чтобы сформировать нужную временную диаграмму сигналов управления АЦП, компьютерная программа заполняет выходной буфер USB байтами, несущими в соответствующих разрядах значения этих сигналов в каждом такте. Для одного цикла работы АЦП требуется сформировать и передать 34 байта (по два на каждый тактовый импульс и еще два для управления сигналом CS). Темп выдачи значений из этих байтов на выходы DTR и RTS преобразователя интерфейса, с которыми соединены входы CS и SCLK АЦП, зависит от настройки внутреннего синтезатора тактовой частоты преобразователя. Настройку изменяют командами от компьютера, регулируя, таким образом, скорость работы АЦП, а вместе с ней и частоту дискретизации входного сигнала.

Последовательный выход АЦП соединен с входом CTS преобразователя интерфейса, благодаря чему результаты работы АЦП поступают в буфер преобразователя интерфейса, а из него по USB в компьютер. В связи с особенностями протокола обмена по USB передача информации в компьютер происходит с довольно большой, а главное, непредсказуемой задержкой. Чтобы решить проблему, на вход DSR преобразователя интерфейса подан тот же сигнал, что и на вход CS АЦП. Получая информацию об уровнях на входе CS и на выходе SDAT АЦП одновременно, компьютерная программа имеет возможность найти в полученной последовательности начало и конец каждого цикла преобразования и правильно декодировать его результат.

В приставке реализовано важное преимущество интерфейса USB как уже сказано, ей не требуется отдельный источник питания. Напряжение +5В поступает на микросхемы с контакта 1 розетки XS1 через развязывающие LC-и RC-фильтры. Напряжение –5В, необходимое для питания ОУ DA1, получено с помощью преобразователя напряжения DC-101 фирмы YCL.

Разработанная для работы с приставкой программа USCOPE, основное окно которой показано на рис. 2, позволяет измерить среднее значение входного напряжения АЦП и наблюдать осциллограмму поданного на его вход сигнала.

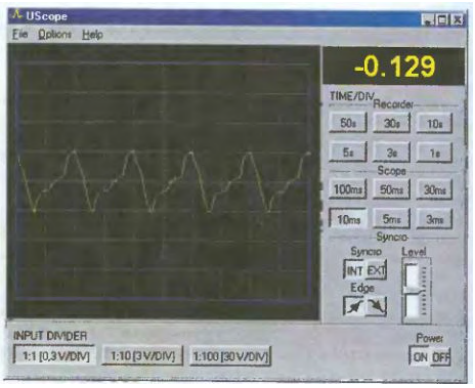


Рис. 2

В режиме регистратора, в который входят, нажав на панели TIME/DIV– Recorder одну из кнопок, задающих период повторения отсчетов в секундах, программа записывает принятую от АЦП информацию в текстовый файл практически неограниченного размера. По умолчанию будет создан файл data.txt, но это имя можно изменить, выбрав в меню «File» пункт «Save Data As...».

Список литературы

1. Агуров П.В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
2. AD7495 1 MSPS. 12-Brt ADC.<http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ 256945590AD7475_95_a.pdf>.
3. FT232BM USB UART. – <http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/ds232b17.pdf
4. FT232BM/FT245BM BIT BANG MODE Application Note. – <http://www.ftdichip.com/Documents/AppNotes/AN232B-01_BitBang.pdf>
5. D2XX Programmer's Guide. <http://www.ftdichip.com/Documents/ProgramGuides/ D2XXPG30.pdf>.

ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ИК ДИОДАХ

Стариков С.С., Шкляр Е.И., Миляев Д.В.

Научный руководитель: Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: stepawa@sibmail.com, destroy@mail2000.ru

Для измерения артериального давления применяется различные типа преобразователей.

В наиболее распространенных, на наш взгляд являются резистивный, который применяется в приборах с реографическим методом измерения, в этом случае применяют четырехзажимные измерительные преобразователи с питанием на переменном токе (20–50 кГц); Оптический датчик на основе диодов ИК свечения и пьезоэлектрические преобразователи на основе пьезоэлектрика.

Оптический метод основывается на изменение напряжения на фотодиоде ИК свечения

(L-53SF6C), от изменения светового потока луча. Первичный преобразователь-датчик, используют 2 фотодиода, один из которых выполняет функцию генератора , а другой – приемника.

Упрощенная схема датчика, поясняющая принцип его работы, приведена на рис. 1.

Изменение потока луча будет в следствии того, что при пульсации точка пульса, перемещается вверх вниз, и это смешение будет изменять положение конусообразной шторки между передатчиком и приемником, из-за этого будет менять поток света, а тем самым и напряжение на выходе от приемника. ИПН-источник постоянного напряжения, с него подается ток накала на светодиод ИК излучения. Конус, который будет совершать колебательные движения на пульсе, будет менять поток, потом это напряжение усиливается и подается на регистратор, где и регистрируется полученное изменение напряжение. Но при этом можно будет установить соотношение между максимальным значением напряжения и верхним давлением, также и для нижнего давление будет соответствовать меньшее значения напряжения.

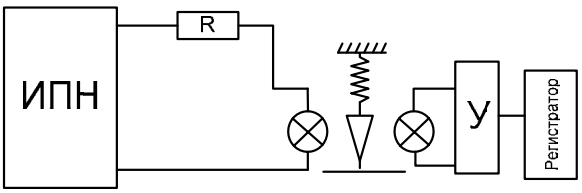


Рис. 1. Схема измерителя на светодиоде

$$\Phi_1 = \frac{\Phi_0}{U_0} \cdot U_1 = U_1 \cdot K_0,$$

где $K_0 = \frac{\Phi_0}{U_0}$ U_1 – напряжение при изменение положение конусообразной шторки, где S =1/K0 – спектральная чувствительность светодиода (мВ/Вт), а Ф – световой поток (Вт),

$$\varepsilon_\phi = U_0 \cdot \Delta L \cdot \frac{\Phi_1}{\Phi_0} = \Phi_1 \cdot \Delta L \cdot S,$$

где ΔL перемещение, $\Delta L = \frac{\Delta F}{K} = \frac{\Delta P}{K \cdot S}$, K – коэффициент жесткости пружинки, ΔP – изменение артериального давления, S – площадь пластинки которая ложится на биообъект.

При проводении эксперимента этим методом на осциллографе наблюдалась модуляция сигнала, что говорит о прямопропорционнальности изменения давления (пульса) от выходного напряжения на фотоприемнике.

Также возможен другой вариант исполнения датчика на светодиодах ИК свечения(L-53SF6C), без конусной шторки. Источник в этом случае закреплен неподвижно на корпусе, а приемник закреплении на подвижной пружинке, тем самым при установки этого датчика на пульс, приемник будет колебаться под действием давления со стороны кожи(на пульсе)

$$\Delta F = \frac{\Delta P}{S} = K \cdot \Delta X = K \cdot y \cdot f(\alpha) U_0,$$

где K – коэффициент жесткости пружинки, y – расстояние между диодами, U0 – максимальное напряжение на приемнике при положении источник-приемник на одной линии, то есть угол между их нормалями составляет ноль градусов.

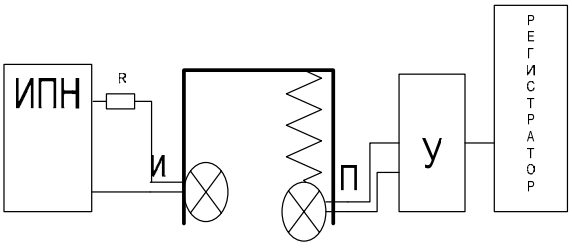


Рис. 2. Схема 2 измерителя на светодиоде

Также был проведен эксперимент, рис. 3, на каких углах между нормалями источника и приемника какое напряжение вырабатывается, для дальнейшей разработки самого датчика, экспериментальные значения ниже.

Таблица 1

Отклонения приемника от нормали, град	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	–5	–10	–15	–20	–25	–30	–35	–40	–45	–50	–55	–60
Напряжение на приемнике, мВ	20	22	28	30	51	88	280	870	970	1007	1020	1052	1012	985	940	830	266	97	75	48	32	25	23	22



Рис. 3. График зависимости напряжение на приемнике от угла поворота источника

По данным табл. 1 построили график зависимости (рис. 3).

Основные параметры светодиода (L-53SF6C)

Мощность излучения Р, мВт	100
Прямое напряжение, В	1.3
при токе Iпр., мА	20
Длина волны, нм	860
Ширина спектра излучения, нм	50
Видимый телесный угол, град	30
Максимальное обратное напряжение, В	5
Максимальный прямой ток, мА	50
Максимальный импульсный прямой ток, мА	1000
Рабочая температура, С	–40...85

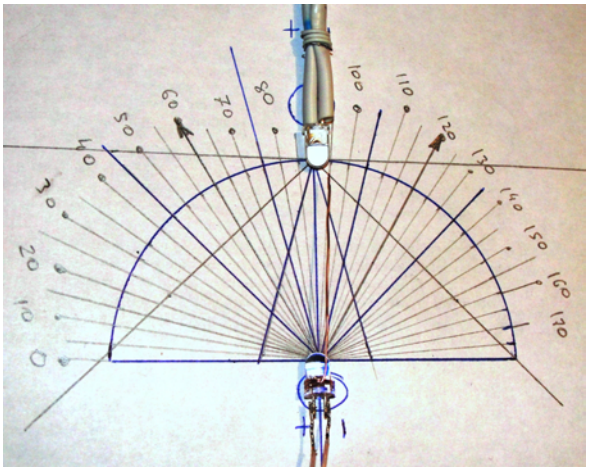


Рис. 4. Схема эксперимента для определения чувствительности светодиода на ИК

На этих оснаваниях можно сделать вывод, что чуствительность светодиода от угла отклонения нормали наиболее максимальна на промежутке от –20 до +20 градусов.

Список литературы

1. П.Л. Андриященко, В.М. Большов, В.А, Клочков, В.Т. Яковлев. К выбору метода измерения артериального давления в мониторных комплексах // Мед. техника. – 1995. – №4.
2. www.platan.ru

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ЧАСТОТЫ ПОВТОРЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО КОНТРОЛЯ

Сторожук Е.С., Редько В.В.

Научный руководитель: Редько В.В., к.т.н., доцент каф. ИИТ ТПУ

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: storojuk_elena@mail.ru

Кабельные изделия (кабели, провода, шнуры) являются одними из наиболее широко используемых элементов энергетики, электротехники и электроники. В процессе изготовления кабельные изделия подвергаются постоянному контролю и измерениям, что в большой степени определяет качество продукции и экономическую эффективность производства.

Контроль качества изоляции кабеля высоким напряжением является основным видом контроля и предусмотрен стандартами и техническими условиями на кабельные изделия. Наличие дефектов определяется по возникновению электрического пробоя между поверхностью изоляции и токоведущей жилой, при этом качественная изоляция не повреждается. Данный способ контроля относится к электроискровым видам неразрушающего контроля. Контроль производится посредством аппаратов, называемых аппаратами сухих испытаний (АСИ) (рис. 1) [2].



Рис. 1. Внешний вид высоковольтного испытателя

Имеются два основных метода контроля изоляции напряжением: длительное приложение испытательного напряжения к изоляции одновременно вдоль всей длины испытуемого изделия (категория ЭИ-1), и кратковременное – к небольшому участку (по длине) испытуемого изделия (категория ЭИ-2). Исходя из условий приложения напряжения, первый метод испытаний проводится на всей длине неподвижного изделия, а второй – «на проход» – во время движения, на участке испытуемого изделия, находящемся в электроде [1].

Испытательное напряжение может быть постоянным, переменным синусоидальным и импульсным.

Область динамических испытаний изоляции в мире изучена слабо. Во многих случаях пользуются теоретической и экспериментальной базой статических испытаний, что не всегда оправдано.

Ранее компанией Clinton Instrument Company проводились исследования, целью которых было рассмотреть эффективность импульсных и испытаний переменным синусоидальным напряжением высокой частоты, по сравнению с водными испытаниями в резервуаре на промышленной частоте (50 Гц), в испытаниях на наличие дефектов на проводе с фторопластовой изоляцией. На рис. 2 и 3 приведены некоторые результаты этих испытаний.

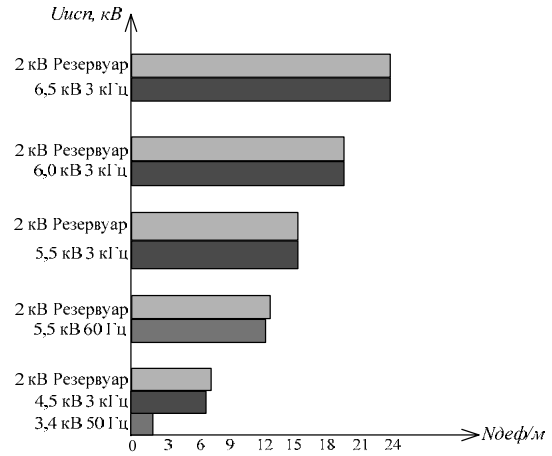


Рис. 2. Статистика испытаний провода с фторопластовой изоляцией переменным высокочастотным напряжением и резервуарным методом

Результаты этих исследований показали превосходство испытания высоковольтным импульсом напряжения по сравнению с водными испытаниями для проводов малого диаметра с виниловой и полиэтиленовой изоляцией.

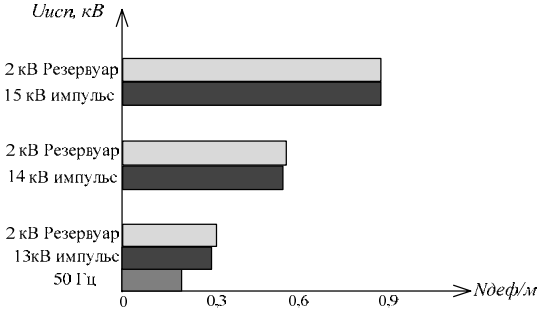


Рис. 3. Статистика испытаний провода с фторопластовой изоляцией высоковольтым импульсом и резервуарным методом

В этой работе также приводились результаты сравнения импульсных и испытаний переменным синусоидальным напряжением высокой частоты.

Для прямого сравнения между двумя методами испытаний «на пробой» был выбран провод с фторопластовой изоляцией, общая длина которого составила 143 метра.

Эта длина была разбита на две части. Первую часть тестировали высокочастотным синусоидальным напряжением (3 кГц) 5.5 кВ, в то время как вторую проверяли импульсом напряжением 15 кВ.

Каждое из испытаний сопровождалось испытанием погружения на 50 Гц на 2.0 кВ. Результаты этих исследований показаны в табл. 1.

Таблица 1

	Высокочастотная синусоида	Импульс
Тестируемые длины в метрах	70,80	72,20
Общее количество обнаруженных дефектов	537	506
Количество обнаруженных дефектов на 1 метр	0,876	0,816
Доп. дефекты, найденные резервуарным методом	0	1

В ходе этих исследований были сделаны выводы об эквивалентности этих испытаний.

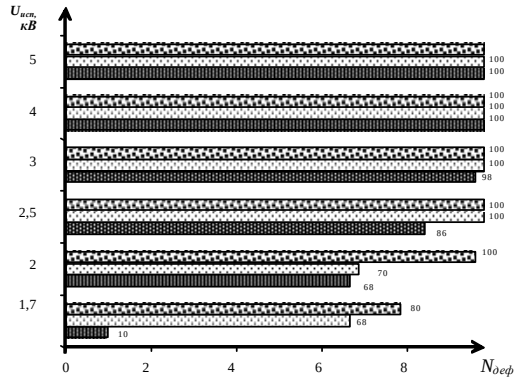


Рис. 4. Статистика динамических испытаний проводов кабеля связи КСПВ 4×0,12 переменным высокочастотным напряжением ( ), переменным напряжением частотой 50 Гц ( ) и постоянным напряжением ( )

Подобные исследования проводились фирмой «НИИ ЭРМИС» специализирующейся на разработке точных измерительных приборов и испытательного оборудования в области кабельного приборостроения, при содействии сотрудников фирмы и кафедры ИИТ, ТПУ.

В Российской Федерации динамические испытания проводятся только переменным напряжением, за рубежом переменным и постоянным, что строго регламентируется государственными стандартами.

Целью этого исследования было подтверждение возможности динамических испытаний постоянным напряжением.

На рис. 4 приводятся результаты исследований испытаний изоляции кабельных изделий переменным высокочастотным напряжением, переменной частотой 50 Гц и постоянным напряжением.

Приведенные зависимости показывают, что динамические испытания постоянным напряжением при соблюдении ряда условий не уступают по достоверности испытаниям переменным напряжением частотой 50 Гц и 3 кГц и могут быть использованы при контроле качества изоляции непосредственно на экструзионных линиях.

Однако испытания постоянным напряжением, по сравнению с испытаниями переменным, имеют некоторые ограничения.

В соответствии с этими исследованиями можно сделать вывод, что до настоящего времени остается слабоизученным вопрос об оптимальном выборе частоты повторения и формы испытательного напряжения и об их применимости к определенным видам изделий. Критерии оптимальности должны выбираться из условий достоверности контроля, негативного влияния высокого напряжения на бездефектную изоляцию, а так же затрат на контроль, что тоже является немаловажным фактором.

Ранее проведенные исследования затрагивали переменное и постоянное испытательное напряжение. В настоящее время на кафедре ИИТ создается экспериментальная установка для проведения новых исследований по изучению и сравнению влияния формы и частоты испытательного напряжения импульсной формы на достоверность контроля.

Список литературы

1. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
2. ГОСТ Р МЭК 60851-5-2002. Провода обмоточные. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ.
3. British standard BS EN 50356:2002 «Method for spark testing of cables».
4. Редько Л.А., Редько В.В. Приборы контроля качества изоляции кабельных изделий // Труды X международной научно–практической конференции «Современные техника и технологии». – Томск, 2004.
5. Clinton Henry H.; Stewart Thomas W. Comparison of impulse and 3 kHz sine wave spark testing // Materials of Sixteenth International Wire and Cable Symposium- Atlantic city,N.J.,1967

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ЛИДАРА В ПЛОСКОСТИ ГОРИЗОНТА

Теплоухов В.В.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vladimir1555@yandex.ru.

Мобильные лидары, жестко установленные на шасси транспортного средства, как показывают экспериментальные исследования, проведенные в институте оптики атмосферы СО АН, испытывают вибрационные механические воздействия в десятки герц, приводящие к изменению положения светового пятна лазерного излучения на зондируемом объекте[1]. Причем с увеличением холостых оборотов двигателя автомобиля наблюдается тенденция к росту амплитуды в отдельных диапазонах частот.

Существует практика установки приборов на упругие амортизаторы, которые выполняют либо функции вибропоглотителей внешних возмущений, либо, наоборот, являются гасителями собственных колебаний прибора

По своему принципу работы амортизаторы уменьшают амплитуду колебаний, а не устраняют ее, причем уменьшение колебаний объекта в определенном диапазоне частот.

Поставленная задача решается за счет того, что в рассматриваемом устройстве стабилизации лидара в плоскости горизонта, имеется подвес который, во-первых, обладает маятниковостью, и во вторых он установлен на упруго-вязкие опоры, состоящие из упругих элементов и параллельно установленных жидкостных демпферов.

Предлагаемое устройство позволяет обеспечить стабилизацию объекта в плоскости горизонта вследствие установки упругих элементов бескарданова подвеса, обеспечивающих возможность малого углового перемещения рамы по двум ортогональным осям.

При отклонении рамы с лидаром за счет маятниковости возникает момент, направленный противоположно моменту, вызванному внешними воздействиями. Эти упругие элементы с демпферами дают возможность малого углового перемещения аналогично угловым поворотам относительно осей рамок карданова подвеса.

Предложенное устройство стабилизации лидара в плоскости горизонта позволяет:

1. Удерживать объект стабилизации строго вдоль вертикали места за счет маятниковости рамы.

2. Устранять колебания линии прицела лидара в диапазоне частот, возникающих при работе двигателя автомобиля на холостом ходу.

На рис. 1 приведена конструкция устройства стабилизации.



Рис. 1. Устройство стабилизации

В данном устройстве динамика работы механической системы (лидар-рама) описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} J_\alpha \ddot{\alpha} + \mu_\alpha \dot{\alpha} + c_\alpha \alpha + Pl\alpha = Q\sin(pt + \delta) \\ J_\beta \ddot{\beta} + \mu_\beta \dot{\beta} + c_\beta \beta + Pl\beta = Q\sin(pt + \delta) \end{cases}, \quad (1)$$

где: J_α, J_β – моменты инерции рамы относительно оси подвеса в ортогональных направлениях; μ_α, μ_β – коэффициенты демпфирования; c_α, c_β – коэффициенты жесткости упругого элемента; P – вес конструкции рамы; p – частота внешних воздействий; l – расстояние от оси подвеса до центра масс подвижной части; Q – амплитуда внешнего периодического воздействия.

Максимальная амплитуда рамы при внешнем воздействии Q определяется выражением

$$A = \frac{h}{\sqrt{(k^2 - p^2) - 4n^2 p^2}}, \quad (2)$$

где k – собственная частота рамы, p – частота внешнего воздействия.

Из выражения (2) видно, что чем больше разница собственной частоты устройства и внешних частот механического воздействия и чем, больше коэффициент демпфирования μ, тем амплитуды колебаний стабилизирующего устройства меньше.

Таким образом, предлагаемое устройство [2] позволяет решить задачу устранения влияния внешних вибрационных механических воздействий на положение линии прицела лидара.

При зондировании объектов в рабочем режиме лидара внешние вибрационные механические воздействия будут гаситься в упругих элементах, работающих как фильтр частот, за счет существенной разницы собственной низкой частоты подвешенного механического маятника и внеш-

них механических воздействий, а так же за счет параллельно установленных вязких демпферов.

При этом следует иметь в виду, что в рассматриваемой механической системе, в рабочем режиме лидара, имеем случай малых колебаний, когда собственная частота маятника не зависит от амплитуды колебаний последнего, что дополнительно повышает эффективность предлагаемой пассивной системы стабилизации.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет:

1) За счет фильтрующих свойств упругого элемента (пружины) исключить внешние механические вибрационные воздействия на лидар работающего двигателя транспортного средства в диапазоне частот холостого хода.

2) Дополнительно за счет параллельного включения в конструкцию узла подвеса демпфирующего устройства производится дополнительное поглощения внешних механических воздействий.

3) Наличие маятниковости обеспечивает постоянство положения лидара в плоскости горизонта по направлению вертикали места, а также обеспечивается стабилизация механической системы в горизонтальной плоскости

Список литературы

1. Научно-технический отчет // Институт оптики атмосферы СО РАН – Томск, 2002.
2. Дмитриев В.С., Теплоухов В.В. «Устройство стабилизации лидара в плоскости горизонта», Патент РФ №2339468, G01C21/18 от 22.07.2008.
3. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Янгулов В.С., Теплоухов В.В. (Мобильные лидары технические проблемы, расчет силовых элементов, автоматизация проектирование, стабилизации в плоскости горизонта) // Известия ТПУ. – Т. 311, №2, 2007. – С. 30–34.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ СИСТЕМЫ СБОРА ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ткачев В.Г., Ульянов И.А.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tps@tpu.ru

Назначение и состав системы сбора ГТИ

Система предназначена для полного контроля буровых работ, во время их проведения. Осуществляет работу по сбору информации, снимаемую с датчиков контроля, обработку и вывод на периферийное оборудование. Система (рис. 1) состоит из датчиков сбора информации аналогового типа и аналого-цифровых преобразователей, выдающих информацию в цифровом виде.

На одну линию подключаются сразу несколько датчиков. Ограничение по подключению датчиков на одну линию определяется суммарным потреблением электроэнергии. Регистрирующий компьютер предоставляет возможность сбора, хранения информации и калибровку в процессе их работы. Система должна обеспечивать в непрерывный контроль всех параметров в процессе буровых работ.

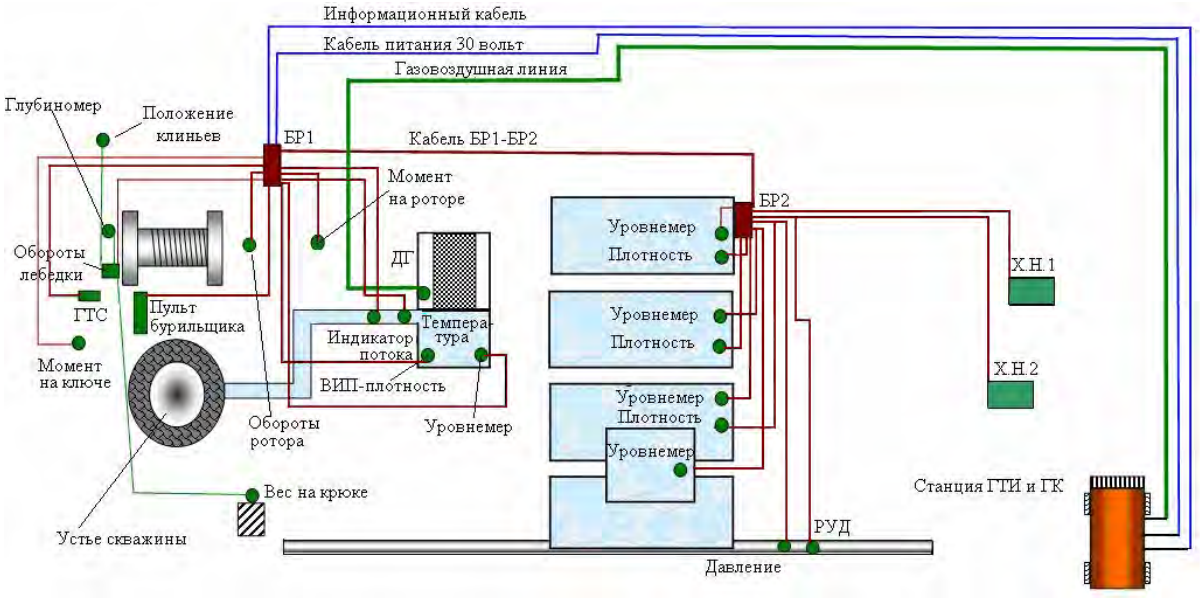


Рис. 1. Схема системы сбора информации геолого-технических исследований

Перечень датчиков, их назначение, принцип действия

Для измерений параметров ГТИ применяются следующие датчики: датчик уровня, наиболее распространенный принцип работы – ультразвуковой, предназначен для измерения уровня жидкости; датчик давления – тензоэлемент, предназначен для определения давления промывочной жидкости; датчик плотности, камертонного типа, предназначен для определения плотности промывочной жидкости; датчик положения клиньев – тензопреобразователь; датчик приближения магнитов – феррозондовые чувствительные элементы, используется как счетчик сигналов; датчик высокого давления – тензо элемент; датчик потока жидкости – эффект Холла, предназначен для контроля потока промывочной жидкости на входе и выходе; датчик нагрузки на крюке; глубиномер; дегазатор; газоанализатор и др.

Условия эксплуатации датчиков

Все приборы и датчики предназначены для работы в суровых условиях севера: очень низкие и высокие температурные режимы; большие температурные перепады; постоянные вибрации высокой частоты; скачки напряжения; агрессивные среды и т.п. Температура окружающей среды изменяется в диапазоне от – 45 до + 80°С, относительная влажность достигает 100%.

Характерные причины отказа датчиков

При эксплуатации в работе датчиков возникают сбои, выявляется достаточно большое количество отказов. Постоянные перестановки оборудования, удары и тряска при транспортировке и монтаже датчиков на рабочих местах отрицательно сказываются на работоспособности приборов. При этом происходит износ и обрыв контактных соединений, разрушение крепежных элементов.

Сбои связаны с недоработкой конструкции самих датчиков и отступлением от регламента при эксплуатации. По возможности в полевых условиях, в датчике находится неисправность и устраняется. В противном случае, датчик отправляется на ремонтную базу, где он ремонтируется, или принимается решение о его списании. Одной из основных причин отказа и сбоев в работе СГТИ является нарушение электрических контактов в разъемах на печатных платах.

Проблемы ремонта датчиков связанны с конструктивным их исполнением, которое не позволяет оперативно определить причину поломки и устранить ее. Неразъемность некоторых узлов делает задачу ремонта датчиков в условиях месторождения невозможной.

Контактная группа разъемов должна обеспечивать герметичное соединение, во избежание замыкания соседних жил кабеля. При попадании воды (конденсата) в место соединения происходит замыкание. Пробой изоляции проводов в кабеле происходит при перегибах и перетирании кабеля. Часто, причиной сбоя в работе аналого-цифрового преобразователя является появление конденсата в блоке или воды через микротрещины защитного кожуха. Проблемой при работе чувствительных элементов является попадание на них инородных предметов, воды, шлама и т. д. Основные неисправности в работе систем сбора информации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид неисправности	Вероятная причина	Метод устранения
1. Нет связи с системой сбора информации	Неисправен кабель	Проверить кабель с помощью тестера
	Неисправен блок контроллера	Заменить блок контроллера
2. Нет данных от датчика веса или клиньев	Неисправен кабель	Проверить кабель
	Неисправен датчик	Заменить датчик
3. Нулевые показания по всем датчикам аналоговых каналов	Нет питания аналоговых датчиков (18–24 В)	Проверить омметром кабели датчиков на отсутствие в них короткого замыкания
4. Ошибка по всем каналам аналоговых датчиков	Обрыв одного из токоизмерительных резисторов	Заменить глубиномер
5. При перемещении талевого блока глубиномер показывает перемещения его на очень маленькую величину в обоих направлениях	Неисправна одна из фаз датчика углового перемещения лебедки	Проверить соединения датчика с контроллером; при необходимости заменить глубиномер
6. Глубиномер показывает перемещение талевого блока, противоположное истинному	Не установлено направление вращения, считающееся положительным	С помощью управляющей программы GeoScape установить нужное состояние параметра «инверсия направления»
7. В процессе эксплуатации наблюдается самопроизвольное изменение положения талевого блока («сползание»)	Проскальзывание ременной передачи при использовании оптического датчика	Устранить проскальзывание
	Неправильная установка магнитного датчика вращения лебедки	Установить зазор между магнитами и датчиком в соответствии с РЭ на МДИ
	Датчик работает в условиях сильных помех	По возможности изменить установку датчика

На месторождении возможна наладка и замена небольших узлов, перепайка электро-радиоэлементов, «прозванивание» кабеля. При необходимости производится замена контактных групп или самого кабеля в случае излома жил. При отсутствии запасных частей датчик отправляется на базу. В случае повторяющихся отказов одного элемента датчика, формулируются рекомендации разработчикам по доработке конструкции.

Перечень работ на месторождении ограничен отсутствием необходимой ремонтно-технической базы.

В процессе эксплуатации системы сбора информации ГТИ автором осуществляется сбор и систематизация материала по причинам и количествам отказов аппаратуры. Эта информация будет полезна разработчикам для доработки и модернизации конструкции датчиков с целью повышения их надежности.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ В СРЕДЕ MATHCAD

Ткаченко И.Ю.

Научный руководитель: Глотов А.Ф., доцент ТПУ

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tkachenkoivan@sibmail.com, IME@tpu.ru

В процессе проектирования цифровых устройств полезно осуществлять математическое моделирование устройства и анализ его работоспособности на ЭВМ. В качестве объекта моделирования взяты цифровые фильтры, осуществляющие наиболее востребованную обработку информации. При проектировании фильтров используются различные методы их синтеза.

Для синтеза цифрового фильтра по аналоговому фильтру-прототипу находят аппроксимирующую функцию требуемой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). По полученной в результате аппроксимации передаточной функции H(s) фильтра-прототипа в комплексной s-плоскости находится передаточная функция H(z) цифрового фильтра в z-области с использованием билинейного преобразования. Ограничиваясь первым членом разложение точной формулы преобразования в ряд, имеем приближенную формулу соответствия операторов s и z .

$$s = \frac{2}{T}\frac{z-1}{z+1},$$

где T – интервал дискретизации аналогового сигнала.

Полученная заменой переменной оператора s на z, передаточная функция H(z) реализуется блок-схемой цифрового устройства.

Существуют методы синтеза цифрового устройств по заданной импульсной характеристике аналогового фильтра-прототипа. После дискретизации импульсной характеристики к ней применяется z – преобразование. В z-области импульсная характеристика тождественна передаточной функции H(z), которая может быть реализована блок-схемой аппаратной реализации.

В данной работе рассматривается частотный метод синтеза по заданным выборкам желаемой АЧХ. Метод позволяет осуществить прямой синтез цифрового устройства на основе гребенчатых фильтров без использования АЧХ аналогового прототипа или его импульсной характеристики. Метод частотной выборки позволяет получить математическую модель фильтра с идеальной, физически нереализуемой АЧХ, но, которая может быть использована для моделирования работы устройства с цифровыми сигналами на ЭВМ.

Алгоритм реализации цифровой фильтрации в среде MATHCAD представлен на рис. 1.

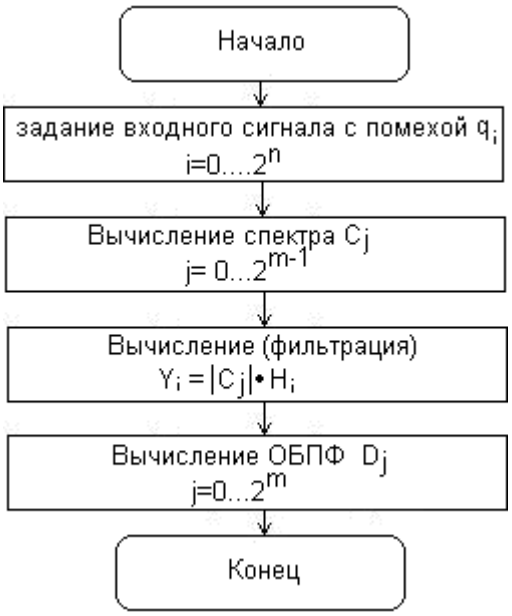


Рис. 1. Алгоритм обработки сигнала

Реализация цифровых фильтров

1. Задаем входной сигнал (рис. 2): полезный сигнал (рис. 3) с наложенной на него помехой в виде входной последовательности x(t) длинной S = 2^m.

2. Определение спектра сигнала Cj по формуле:

$$C_j = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N}(V_k e^{i2\pi\frac{j}{N}k}) \qquad (1)$$

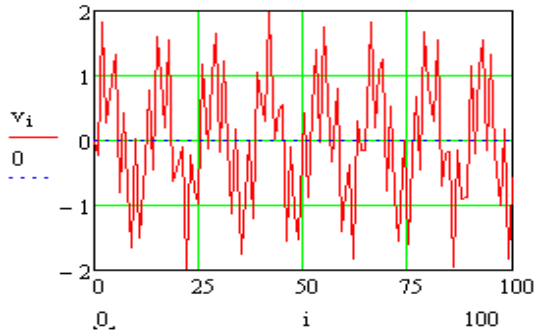


Рис. 2. Входной сигнал с помехой

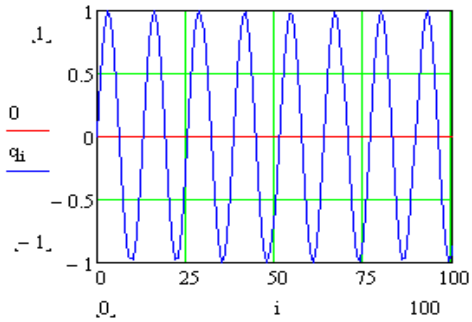


Рис. 3. Полезный сигнал

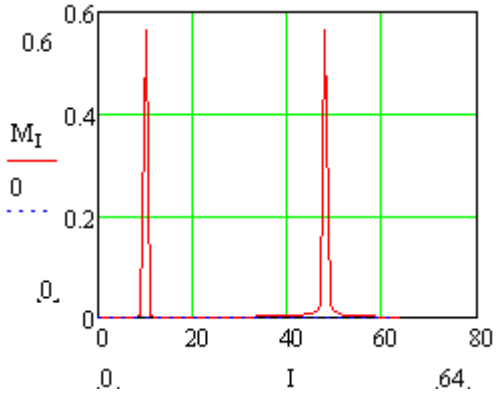


Рис. 4. Спектр входного сигнала

Аппроксимация АЧХ идеального НЧ фильтра по заданным частотным выборкам осуществляется по формуле (2).

$$H(e^{jw}) = \frac{e^{-j\omega\frac{N-1}{2}}}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(\frac{H(k)e^{-j\frac{\pi k}{N}}}{\sin\left(\frac{\omega}{2}-\frac{\pi k}{N}\right)}\right). \qquad (2)$$

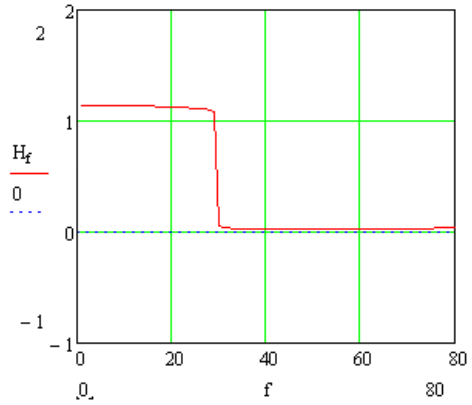


Рис. 5. АЧХ НЧ-фильтра

3. Находим реакцию фильтра в частотной области по формуле (3).

$$Y_i = H_i\left|C_j\right| \qquad (3)$$

4. Осуществляем преобразование из частотной области во временную, используя обратное быстрое преобразование Фурье по формуле (4).

$$D_j = \frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{k=0}^{N}\left(Y_k e^{2\pi i\left(\frac{j}{N}\right)k}\right) \qquad (4)$$

График выходного сигнала после фильтрации помехи представлен на рис. 6.

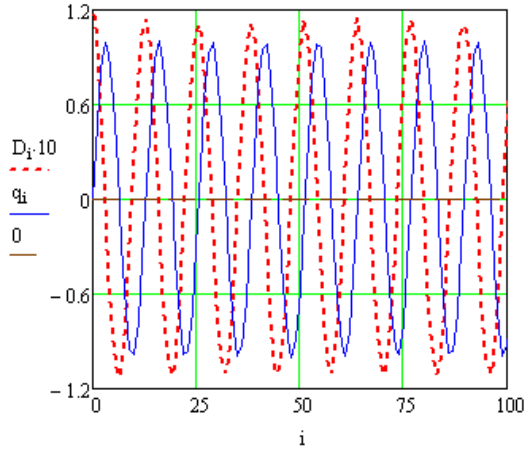


Рис. 6. График полезного сигнала на входе и выходе фильтра

Из графика рис. 6 можно видеть, что реакция фильтра запаздывает относительно воздействия. Это вызвано тем, что фазо-частотная характеристика идеального фильтра НЧ представляет собой линейную функцию частоты. Последнее вызывает задержку по времени выходного сигнала по отношению ко входному без изменения его формы, так как осуществляется пропорциональный частоте сдвиг гармонических составляющих сигнала в соответствии с формулой задержки:

$$\tau = -\frac{\partial \arg H}{\partial \omega},$$

где τ – время задержки частотных составляющих сигнала.

Представленная работа может быть использована для осуществления цифровой обработки информации на ЭВМ с помощью идеальных АЧХ, для контроля синтеза фильтров в аппаратном или аппаратно-программном исполнении с целью уточнения требуемой полосы пропускания реальных фильтров и т. д. Кроме того, она может быть использована для освоения теории цифровой обработки при изучении соответствующих дисциплин.

Список литературы

1. Карташев В. Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров: учебное пособ. для вузов. – М.: Высш. школа, 1982.
2. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособ. для вузов / М.М. Гольденберг, Б.А. Матюшкин, М.Н. Поляк. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990.
3. Введение в цифровую фильтрацию / под ред. Р. Богнера и А Константинидиса; пер. с англ., под ред. Л.И. Филиппова. – М.: Мир, 1976.

ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА

Ткаченко Н.Ю., Губарев Ф.А., Суханов В.Б.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634029, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: itachi1403@sibmail.com

Большая часть проблем, связанных со сроком службы активных элементов традиционных лазеров на парах металлов связана с высокими рабочими температурами (~1500 ^{0}C для лазера на парах меди). Идея о возможности снижения рабочей температуры лазеров на парах меди была впервые высказана Уолтером и др. [1]. Она заключалась в использовании медьсодержащих быстро испаряющихся соединений в качестве доноров рабочего вещества. Наиболее подходящими соединениями являются галогениды. Давление паров бромида, хлорида и йодида меди, достаточное для генерации, достигается при температурах 450, 400 и 600 ^{0}C, соответственно. Это позволяет использовать при изготовлении активных элементов более дешевые материалы, такие как кварц.

К низкотемпературным лазерам на парах металлов относятся CuBr-лазеры и HyBrID-лазеры (Hydrogen Bromine in Discharge). Последние отличаются более высокой мощностью генерации и КПД, чем CuBr-лазеры с добавками водорода (HBr) в режиме высоких мощностей накачки. Это объясняется разным способом образования рабочих атомов и большей концентрацией водорода и брома в разряде гибридного лазера [2].

Принцип работы заключается в прокачке смеси инертного газа, в основном неона, и галогеносущих частиц Br_2, Cl_2 или HBr (HCl) через активную зону газоразрядной трубки (ГРТ) лазера, по всей длине которой расположены кусочки металлической меди. В разряде на поверхности металла происходит его взаимодействие с галогеном с образованием галогенида меди. Несмотря на высокие энергетические характеристики, недостатком HyBrID-лазера является необходимость прокачки буферного газа, что делает невозможным создание отпаянной конструкции активного элемента.

Лазер на парах металла с внутренним реактором галогенида металла, предложенный в работе [3], представляет собой, по сути, отпаянный вариант гибридного лазера. По нашему мнению, активные элементы лазеров такого типа, работающие в режиме «генератора солей» с наработкой солей металлов непосредственно в активной зоне ГРТ во время работы лазера, будут обладать следующими преимуществами перед известными аналогами:

• простота и безопасность в получении безводных галогенидов (в обычных лазерах на галогенидах металлов рабочее вещество готовится отдельно и потом загружается в ГРТ);

• появляется возможность регулирования паров галогена с низкой температурой 70–150 ^{0}C, что гораздо ниже температуры контейнеров с галогенидом металла в обычных лазерах на парах галогенидов металлов (ЛППГМ);

• появляется возможность получения любых солей в одной ГРТ;

• при условии жесткой фиксации металла в рабочей зоне, например, в виде колец, появляется возможность работы ГРТ и в вертикальном положении, поскольку отсутствует жидкая фаза галогенида металла как в обычных ЛППГМ;

• уменьшается время выхода на рабочий режим;

• при использовании емкостной накачки [4] обеспечивается более высокая степень чистоты разряда, что в конечном итоге должно привести к увеличению срока службы активного элемента;

• благодаря отпаянному режиму работы, в отличие от гибридных лазеров, такая система становится мобильной.

Конструкции исследуемых активных элементов представлены на рис. 1 *а, б*. В случае (*а*) электроды являются внутренними (имеют контакт с активной средой), в случае (*б*) изолированные (не имеют контакта с активной средой, при этом электрическая связь является емкостной). В табл. 1 приведены параметры исследуемых ГРТ. В качестве буферного газа в экспериментах использовался неон. Температура стенки ГРТ определялась нагревателем 5 независимо от потребляемой мощности. Используемый в качестве галогена бром закачивался в цеолит (натекатель), который составляет основу генератора галогена 7. Поскольку йод находится в твердой фазе, то он помещается в отросток 7 генератора галогена в чистом виде. Нагреватель 8 генератора галогена 7 позволял поддерживать температуру отростка на определенном уровне с высокой точностью.

Таблица 1

№ ГРТ	Тип ГРТ	Диаметр ГРТ, см	Длина ГРТ, см	№ рис.
1	Cu+Ne+I_2	1,9	50	1, *а*
2	Cu+Ne+Br_2	1,7	40	1, *б*
3	Cu+Ne+I_2	1,7	40	1, *б*
4	Mn+Ne+I_2	1,7	40	1, *б*

Для накачки ГРТ с внутренним исполнением электродов (рис. 1, *а*) применялась типичная схема прямого разряда рабочей емкости через тиратрон ТГИ1-1000/25. Для накачки ГРТ с внешними электродами (рис. 1, *б*) использовалась схема, в которой роль накопительной емкости выполняют электроды и подробно описанная в работе [4].

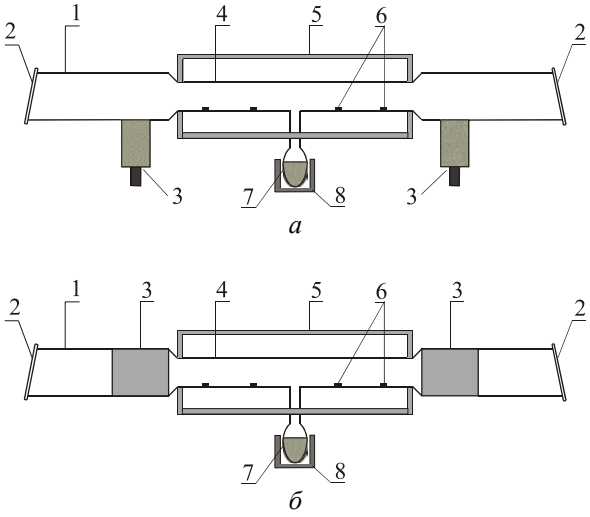


Рис. 1. Активные элементы лазеров на парах металлов с внутренним реактором галогенида металла: 1 – кварцевая трубка, 2 – выходные окна, 3 – электроды, 4 – рабочий канал, 5 – нагреватель рабочей зоны, 6 – металл, 7 – генератор галогена, 8 – нагреватель генератора галогена

В первых экспериментах по исследованию Cu+Ne+Br_2-лазера с внутренним реактором применялась ГРТ №1 (табл. 1). Зависимость выходной мощности от давления галогена приведена на рис. 2. Максимум мощности излучения соответствует 13–16 торр йода. Данные по давлению насыщенного пара йода взяты из [5].

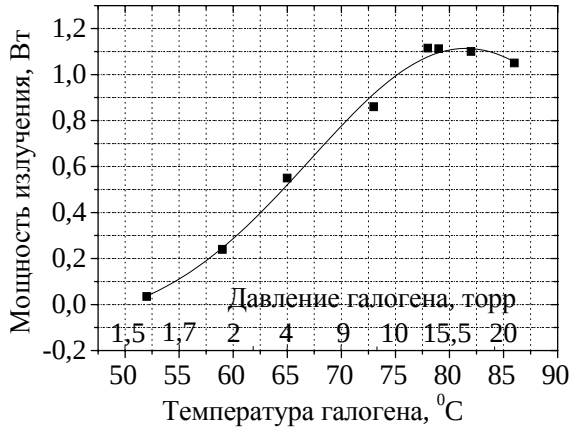


Рис. 2. Зависимость мощности излучения ГРТ №1 от давления йода

При использовании в качестве галогена йода, данная ГРТ показала худшие энергетические характеристики, чем ГРТ с бромом [6], несмотря на увеличенные габариты. В целом, CuBr-лазер обладает лучшими параметрами по сравнению с CuI-лазером [7].

Как отмечалось выше, с целью увеличения срока службы активного элемента лазера на парах галогенида металла мы используем накачку продольным емкостным разрядом.

В табл. 2 приведены характеристики ГРТ №3 при работе в системе Cu+Ne+Br_2. По мощности излучения активный элемент с емкостным разрядом не уступает ГРТ с внутренними электродами.

Таблица 2

Характеристики ГРТ №3

$P_в$, Вт	f, кГц	$U_в$, кВ	$P_г$, Вт	КПД, %
600	30–50	5–6	1	0,16
1000	30–50	5–6	2	0,2

Кроме того в данной работе была реализована генерация в емкостном разряде с йодом в качестве галогена в парах йодида меди и йодида марганца. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики Cu+Ne+I_2- и Mn+Ne+I_2-лазеров

Металл	$P_в$, Вт	λ, мкм	f, кГц	$P_г$, Вт
Cu	700	0,510 0,578	30	0,55
Mn	400	0,534–0,554 1,29–1,4	20	0,15

Примечание. Давление буферного газа Ne 60 торр.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/1425.

Список литературы

1. Walter W.T., Solimene N., Piltch M., Gould G. Efficient pulsed gas discharge lasers // IEEE J. Quantum Electron. – 1966. – V. 2. – № 9. – P. 474–479.
2. Isaev A.A., Jones D.R., Little C.E., Petrash G.G., Whyte C.G., Zemskov K.I. Characteristics of pulsed discharges in copper bromide and copper HyBrID lasers // IEEE J. Quantum Electron. – 1997. – V. 33. – № 6. – P. 919–926.
3. Суханов В.Б., Шиянов Д.В., Андриенко О.С. Активный элемент лазера на парах металла с внутренним реактором галогенида металлов // Симпозиум «Лазеры на парах металлов ЛПМ-2008»: тезисы докладов / Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2008, С. 84.
4. Gubarev F.A., Sukhanov V.B., Evtushenko G.S., Fedorov V.F., Shiyanov D.V. CuBr laser excited by a capacitively coupled longitudinal discharge // IEEE J. Quantum Electron. – 2009. – V. 45. – № 2. – P. 171–177.
5. Стэлл Д.Р. Таблицы давления паров индивидуальных веществ: пер. с англ. – М.: Изд. иностр. литературы, 1949. – 71 с.
6. Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах бромида марганца с накачкой емкостным разрядом // Труды XVI международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ'2010. – Томск: ТПУ, 2010.
7. Gabay S., Smilanski I., Levin L.A., Erez G. Comparison of CuCl, CuBr and CuI as lasants for copper vapor lasers // IEEE J. Quantum Electron. – 1977. – V. 13. – № 5. – P. 364–366.

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Торгаев С.Н.[1,2], Евтушенко Г.С.[1], Шиянов Д.В.[1,2]

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор

[1]*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*
[2]*Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 1*
E-mail: torgaev@tpu.ru

Введение водородосодержащих добавок в активную среду лазера на парах бромида меди (CuBr-лазер) при определенных экспериментальных условиях приводит к существенному росту эффективности генерации, а также позволяет увеличить частоту следования импульсов генерации [1, 3].

Для многих практических задач, например, создание активных оптических систем, задача создания высокочастотного лазера на парах бромида меди является актуальной. Поэтому представляет интерес выявления механизмов влияния активных добавок на частотные характеристики CuBr-лазера.

На первом этапе для решения данной задачи нами были проведены ряд экспериментов, целью которых являлось получение частотно-энергетических характеристик CuBr-лазера, в смеси с добавкой бромида водорода и без добавок.

В табл. 1 приведены параметры исследуемой газоразрядной трубки (ГРТ).

Таблица 1

Параметры ГРТ

Параметр	Значение
Длина активной среды (мм)	400
Диаметр ГРТ (мм)	10
Давление неона (торр)	25
Давление HBr (торр)	0.25
Температура стенки ГРТ (°C)	650

Для накачки использовалась схема прямого разряда рабочей емкости на ГРТ через коммутатор – таситрон ТГУ1-1000/25 без обострительных конденсаторов и линий сжатия.

На рис. 1 приведены полученные зависимости мощности излучения от частоты с добавкой и без добавки HBr.

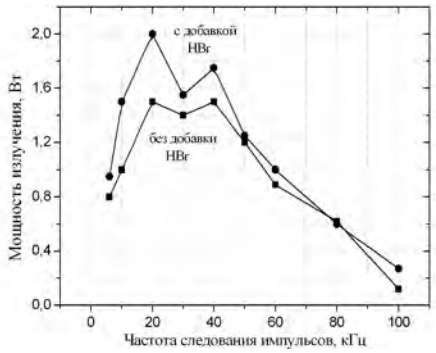


Рис. 1. Зависимость мощности излучения от частоты

Данная зависимость показывает, что в данной ГРТ заметное увеличение мощности излучение при добавке HBr наблюдается на промежутке частот 10–40 кГц. Однако увеличение мощности незначительно.

На рис. 2 приведены осциллограммы импульсов напряжения, тока и генерации CuBr-лазера в смеси с добавками и без добавок HBr, работающего с частотой следования регулярных импульсов 10кГц.

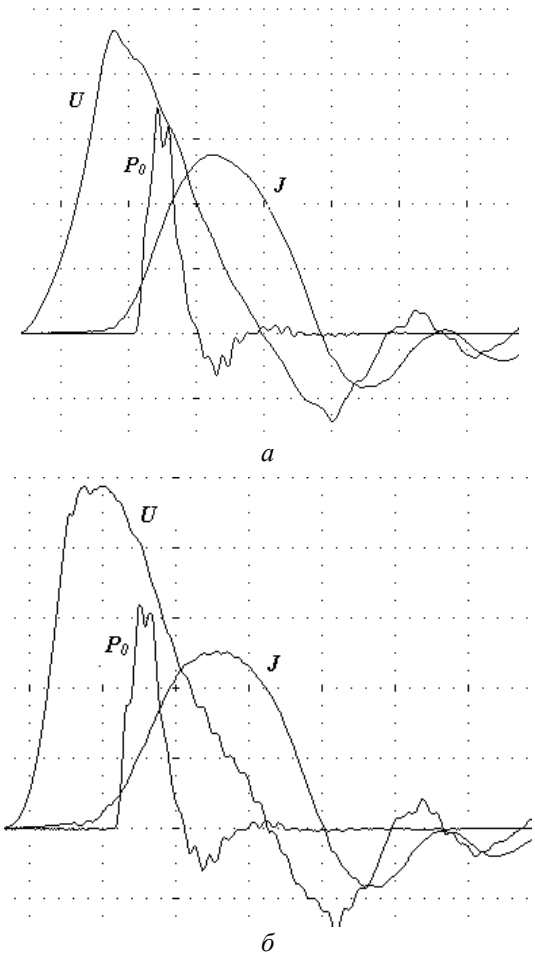


Рис. 2. Импульсы напряжения (U), тока (J) и генерации (P_0) CuBr-лазера без добавок (а) и с добавками (б) HBr. Частота следования регулярных импульсов – 10 кГц

Из рис. 2 видно, что при введении в активную среду CuBr-лазера бромида водорода происходит рост напряжения и увеличение задержки импульса тока относительно напряжения. Также происходит незначительное увеличение длительности импульса генерации по полувысоте.

Однако, при работе CuBr-лазера с частотой следования импульсов 10 кГц, данные изменения

являются незначительными. Это связано, с тем, что на данной частоте величина межимпульсного периода велика и релаксация плазмы осуществляется, как в смеси с добавкой, так и без добавки HBr.

На рис. 3 приведены осциллограммы импульсов напряжения, тока и генерации CuBr-лазера в смеси с добавками и без добавок HBr, работающего с частотой следования регулярных импульсов 80 кГц.

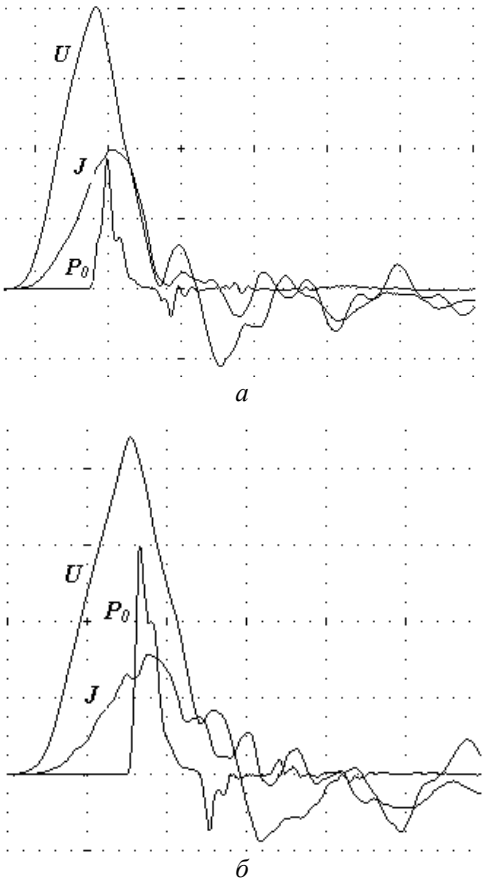


Рис. 3. Импульсы напряжения (U), тока (J) и генерации (P_0) CuBr-лазера без добавок (а) и с добавками (б) HBr. Частота следования регулярных импульсов – 80 кГц

Из рис. 3 видно, что на высоких частотах с вводам в активную среду лазера добавки HBr происходит заметное улучшение частотно-энергетических характеристик. Наблюдается достаточно заметное отставание тока, это делает условия возбуждения резонансных уровней более благоприятным.

Однако, как видно из рис. 1, мощности генерации как в смеси с добавкой, так и в смеси без добавки HBr практически одинаковы.

Таким образом, ввод в активную среду CuBr-лазера бромида водорода приводит к улучшению его частотно-энергитических характеристик. Однако при вводе добавок в ГРТ малого диаметра их влияние оказывается незначительным. Вероятно это связанно с тем, что в ГРТ малого диаметра преобладают диффузионные процессы, а не объемные.

Для более подробного обоснования процессов протекающих в плазме лазера при вводе в активную среду добавки HBr в дальнейшем планируется проведения экспериментов с ГРТ большего диаметра. Также для выяснения механизмов влияния добавки HBr на частотно-энергетические характеристики планируется проведение математического моделирования физических процессов.

Список литературы

1. Sabotinov N.V., Vuchkov N.K., Astadjov D.N. Parametric Study of the CuBr laser with Hydrogen Additives. / J. Quantum Electronics. – 1988. – Vol. 24. – №9. – P. 1927–1935.
2. Shiyanov D.V., Evtushenko G.S., Sukhanov V.B., Fedorov V.F. A copper bromide vapour laser with a high pulse repetition rate. – 2002. – Vol. 32. – №8. – P. 680–682.
3. Шиянов Д.В. Лазер на парах бромида меди с высокой частотой следования импульсов. Дисс. на соискание уч. степени к.ф.-м.н. – Томск, 2007. – 125 с.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ CUBR – ЛАЗЕР С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ИСТОЧНИКОМ НАКАЧКИ

Тригуб М.В.[1,2], Федоров В.Ф.[2], Бредер О.В.[1]

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор

[1]Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, Томск, пл. Академика В.Е. Зуева, 1
E-mail: trigub@tpu.ru

Уникальное сочетание свойств лазеров на парах металлов, в частности на парах меди, делают их предпочтительными при создании высокоскоростных активных оптических систем. Для регистрации быстропротекающих процессов необходимы системы с высоким временным разрешением, которое определяется временным разрешением регистратора (CCD камерой) и частотой следования импульсов (ЧСИ) генерации оптического усилителя. На сегодняшний день имеются высокоскоростные камеры, способные производить съемку со скоростью более 600000 к/с, однако, пространственное разрешение при этом достаточно низкое. Так же существует ряд ограничений, которые не позволяют создавать оптимальные оптические усилители на основе CuBr – лазеров с

высокими ЧСИ (свыше 200 кГц), так как при повышении рабочей частоты необходимо уменьшать диаметр газоразрядной трубки (ГРТ), что приведет к уменьшению мощности сверхсветимости, усилению и увеличит искажения, вносимые усилителем. Для накачки лазеров использовались схемы с использованием тиратронов и модуляторных ламп. Тиратроны не способны обеспечить надежную работу на высоких частотах, а модуляторные лампы имеют ограниченный срок службы, высокую цену и большие массогабаритные параметры.

Альтернативой традиционным схемам накачки являются твердотельные, которые позволяют увеличить срок службы, снизить стоимость и массогабаритные параметры лазера. В работе [1] была предложена схема накачки с использованием силовых полупроводниковых ключей, включенных параллельно. Частота следования импульсов составляла 30 – 50 кГц, т.е. значительно ниже практически достижимой частоты [2].

В данной работе представлены результаты исследования лазера на парах бромида меди, возбуждаемого полупроводниковым источником накачки с высокой частотой следования импульсов генерации.

Схема накачки представлена на рис. 1. В качестве силовых ключей использовались высокочастотные транзисторы MOSFET – 2SK1317. Основным недостатком этих ключей является низкий прямой ток, что является ограничивающим фактором при создании лазеров с высокой выходной мощностью. Поэтому было принято решение использовать понижающие импульсные трансформаторы (*Tr1 – TrN*), что в свою очередь позволяет получить более крутой фронт, и как следствие большую мощность генерации. Диоды V*D*5–*D*N – HFA15PB60, конденсаторы *C2–CN* – КВИ-3-470пФх10кВ. Для защиты от скачка тока в момент заряда емкостей используется дроссель *L1*. В качестве задающего генератора использовался генератор прямоугольных импульсов Г5-54.

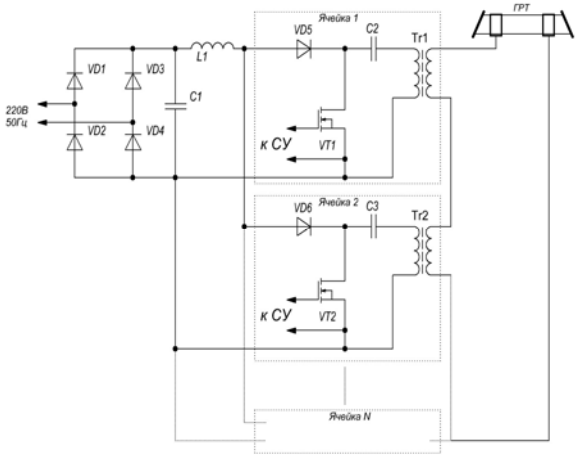


Рис. 1. Принципиальная схема накачки

В качестве активного элемента использовалась ГРТ диаметром 6 мм и длиной активной зоны 200 мм. Температура наружной стенки в экспериментах составляла 600 ^{0}C. Активный элемент находился в кожухе с внешним нагревателем.

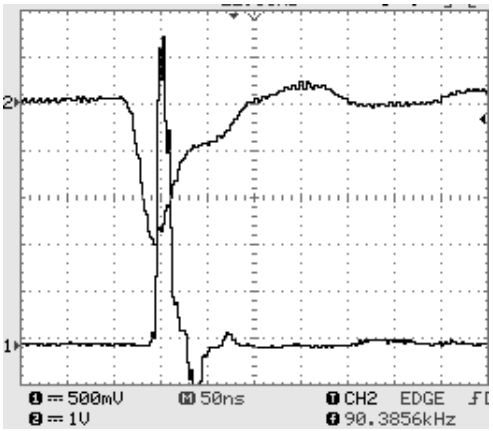


Рис. 2. Импульс генерации (1) и импульс напряжения ГРТ (2), f = 90,4 кГц

На рис. 2 показан импульс генерации и импульс напряжения при оптимальной частоте следования – 90 кГц, при этом суммарная мощность генерации по обеим линиям составляла 200 мВт. Мощность, потребляемая источником накачки от сети, составляла 280 Вт.

На рис. 3, 4 показаны осциллограммы тока, напряжения на ГРТ и импульса генерации при различных частотах накачки лазера – f.

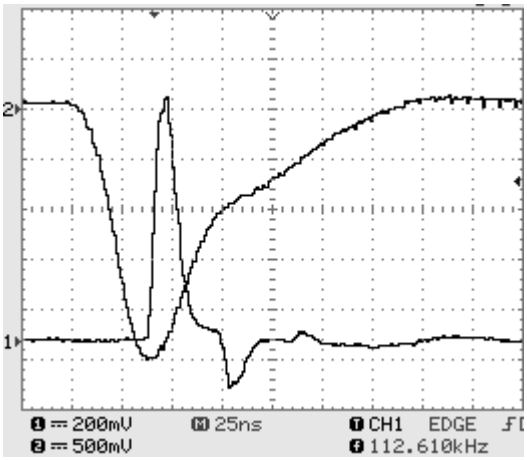


Рис. 3. Импульс генерации (1) и импульс напряжения на ГРТ, f = 112.6 кГц

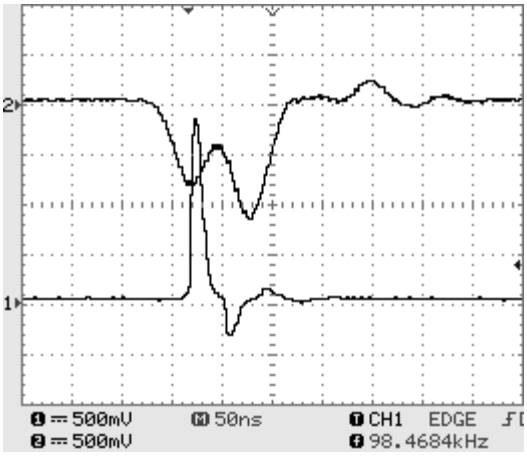


Рис. 4. Импульс генерации (1) и импульс тока на ГРТ, f = 98.5 кГц

Как известно, с ростом частоты происходит изменение соотношения мощности генерации желтой и зеленой линии для лазера на парах меди [3].

Таблица 1

Изменение мощности генерации

f, кГц	P, mW	P **зел**, mW	P **желт**, mW
81	160	90	30
90	200	100	60
95	190	97	60
100	185	90	60
105	170	70	58
110	170	80	55
115	160	75	55
120	140	65	50
129	115	50	50

В ходе работы получены зависимости полной мощности – **P**, мощности желтой – **P желт** и зеленой линии – **P зел,** от изменения частоты, результаты представлены в табл. 1 и рис. 5. Для выделения нужной линии использовались светофильтры: для желтой – ОС-17, для зеленой – СЗС-22.

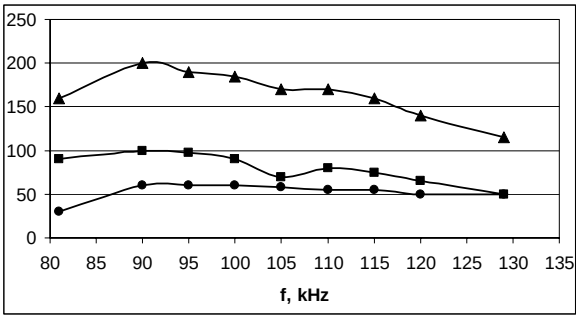


Рис. 5. Изменение суммарной мощности и мощности по каждой линии в зависимости от частоты:
▲ – суммарная мощность, ■ – мощность линии 510,6 нм, ● – мощность линии 578,2 нм

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность создания полупроводниковых схем накачки лазеров на парах галогенидов металлов, в частности лазера на парах бромида меди, с повышенными частотами следования. Проведены исследования генерационных характеристик лазера при повышении частоты.

Основным ограничивающим фактором создания твердотельных схем накачки с частотами, близкими к предельным (порядка 400 кГц) [2] является низкая частота работы силовых полупроводниковых ключей. Однако, для создания квантовых усилителей, способных визуализировать быстропротекающие процессы, на сегодняшний день достаточно иметь лазер с частотой следования порядка 200 кГц, т. к. при этом имеется возможность производить съемку с хорошим пространственным разрешением. Если же дальше увеличивать рабочую частоту лазера на парах бромида меди, то необходимо уменьшать диаметр ГРТ. А это приведет к уменьшению мощности сверхсветимости и увеличит искажения, вносимые квантовым усилителем.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект: РНП.2.1.2/1425.

Список литературы

1. Тригуб М.В., Федоров В.Ф. Труды XV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Современные техника и технологии СТТ'2009 / ТПУ. – Томск: Издательство ТПУ, 2009. – Т. 1. – С. 245.
2. Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Заикин С.С. Лазер на парах бромида меди с частотой следования импульсов 400 кГц // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 106–107.
3. Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б. Энергетические характеристики CuBr-лазера с емкостной накачкой при использовании схемы на основе лампового коммутатора // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 4. – С. 106–110.

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЕРКИ СКВАЖИННЫХ ИНКЛИНОМЕТРОВ

Гормаков А.Н., Ульянов И.А

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: tps@tpu.ru

Для поверки и калибровки инклинометров разработаны и выпускаются специальные поверочные установки, такие как УСИ-2, УПН-1, УПИ-1, УАК-СИ, УНИИП-2М и др. [1].

Эти метрологические установки обеспечивают придание заданного пространственного положения поверяемым и калибруемым инклинометрам. Элементы конструкции установки должны обладать высокой жесткостью и стабильностью точностных характеристик во времени.

Наиболее полно требованиям к современным и перспективным установкам отвечает кинематическая схема, представленная на рис. 1.

К числу факторов, влияющих на метрологические характеристики установки, следует отнести технологические погрешности изготовления элементов конструкции и сборки.

Наибольшего внимания заслуживают угловые смещения осей подвеса. Кинематическая схема установки с учетом погрешностей изготовления

представлена на рис. 2. Начало опорной системы координат расположено в устье скважины, ось Oζ направлена по вертикали вниз, а оси Oξ и Oη горизонтальны, причем ось Oξ лежит в плоскости магнитного (истинного) меридиана и направлена на магнитный (истинный) север.

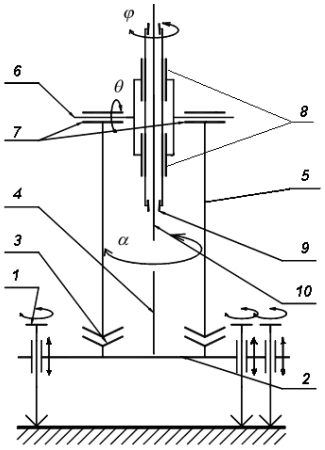


Рис 1. Кинематическая схема установки:
1 – регулируемые опоры, 2 – основание,
3 – упорно-радиальный подшипник, 4 – азимутальная ось,
5 – стойка, 6 – зенитная ось, 7 – подшипниковый узел,
8 – подшипниковый узел, 9 – цанговый зажим,
10 – апсидальная ось

Инклинометр (рис. 3) устанавливается в зажимное устройство установки, которое вносит свою погрешность в ориентацию поверяемого прибора.

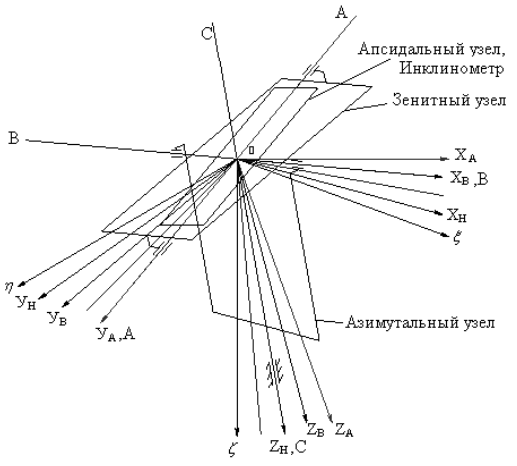


Рис. 2 Кинематическая схема установки с учетом погрешностей изготовления: Oξηζ – опорная система координат; $OX_NY_NZ_N$ – система координат, связанная азимутальным узлом; $OX_вY_вZ_в$ – система координат, связанная с зенитным узлом; $OX_pY_pZ_p$ – система координат, связанная с апсидальным узлом; CC – азимутальная ось подвеса; BB – зенитная ось подвеса; AA – апсидальная ось подвеса

На рис. 4 представлена полная картина перехода от опорной системы координат *Oξηζ* к системе координат $OX_iY_iZ_i$, связанной с инклинометром с учетом погрешностей изготовления. Погрешности изготовления конструкции установки приводят к отклонению её осей от опорных направлений, что приводит к снижению достоверности поверки инклинометра.

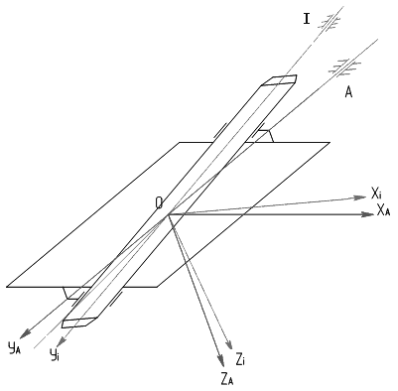


Рис. 3. Кинематическая схема зажимного узла установки с учетом погрешностей изготовления: OXiYiZi – система координат связанная с поверяемым инклинометром, I I – продольная ось инклинометра, OXaYaZa – система координат связанная с поверяемым инклинометром

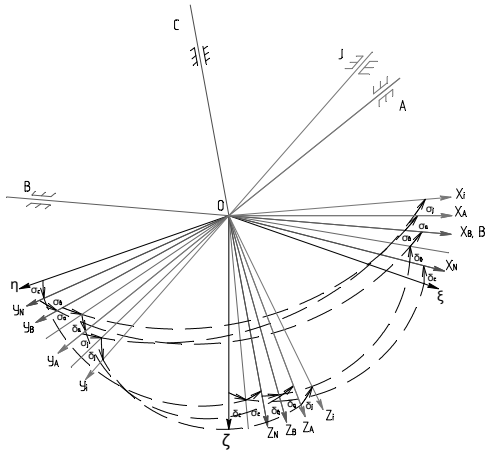


Рис. 4. Положение оси инклинометра Y_i относительно опорной системе координат 0 ξ η ζ с учетом технологических погрешностей

Матрица перехода от опорной системы координат Oξηζ к системе координат $O_iX_iУ_iZ_i$ может быть представлена как произведение матриц A_0^N, $A_N^{B,}$ $A_B^{A,}$ A_A^i:

A_N^B – переход от азимутального узла к зенитному;

A_B^A – переход от зенитного узла к апсидальному;

A_0^N – переход от опорной к системы координат, связанной с азимутальным узлом;

A_A^i – переход от апсидального узла к инклинометру.

$$A_O^i = A_O^N \cdot A_N^B \cdot A_B^A \cdot A_A^i = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix}, \text{ где}$$

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} в_{11} & в_{12} & в_{13} \\ в_{21} & в_{22} & в_{23} \\ в_{31} & в_{32} & в_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & i_{13} \\ i_{21} & i_{22} & i_{23} \\ i_{31} & i_{32} & i_{33} \end{bmatrix}.$$

Матрица A_o^i учитывает технологические погрешности (рис. 4) δ_C, σ_C, δ_B, σ_B, δ_A, σ_A, δ_i, σ_i. С

другой стороны, положение платформы в опорной системе координат может быть определено так же углами Эйлера α, β, γ, в этом случае матрица перехода имеет вид:

$$F_o^i = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{vmatrix}$$

$$F_0^i = \begin{vmatrix} \cos\beta \cdot \cos\alpha & \cos\beta \cdot \sin\alpha & -\sin\beta \\ (-\cos\gamma \cdot \sin\alpha + \sin\gamma \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha) & (\cos\gamma \cdot \cos\alpha + \sin\gamma \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha) & \sin\gamma \cdot \sin\beta \\ (\sin\gamma \cdot \sin\alpha + \cos\beta \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha) & (-\sin\gamma \cdot \cos\alpha + \cos\gamma \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha) & \cos\gamma \cdot \cos\beta \end{vmatrix}$$

Матрицы A_0^i и F_0^i характеризуют положение одной и той же системы координат $OX_iY_iZ_i$ в опорной системе координат. Значит, эти матрицы равны. Исходя из этого, можно определить углы α, β, γ пространственной ориентации инклинометра в опорной системе координат с учетом технологических погрешностей.

Сравнивая соответствующие элементы матриц A_0^i и F_0^i, получаем выражения ошибок в ориентации инклинометра в установке, обусловленных технологическими погрешностями.

$$d_{13} = f_{13}; \qquad \beta = \arcsin(-d_{13})$$

$$\frac{d_{23}}{d_{33}} = \frac{f_{23}}{f_{33}}; \qquad \gamma = arctg(\frac{d_{23}}{d_{33}})$$

$$\frac{d_{12}}{d_{11}} = \frac{f_{12}}{f_{11}}; \ \alpha = arctg(\frac{d_{12}}{d_{11}})$$

Начальная ориентация платформы при α=0, β=0, γ=0 определяется только технологическими погрешностями.

Заключение

Существует два пути повышения достоверности результатов поверки инклинометров на установках:

1. Погрешность установки должна быть на порядок ниже погрешности поверяемого инклинометра.

2. Выявление зависимостей изменения погрешностей пространственного положения азимутальной, зенитной и апсидальной осей установки во всех рабочих диапазонах и учет их алгоритмическим путем.

В любом случае для обеспечения достоверности результатов поверок на таких установках требуется проводить математический анализ их погрешностей и иметь в распоряжении методики и средства для контроля этих погрешностей при изготовлении и в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Гарейшин З.Г. Концептуальные вопросы компоновки метрологических установок пространственной ориентации скважинной инклинометрической аппаратуры // Нефтегазовое дело, 2006. – 33 с. www.ogbus.ru
2. А.с. 1642232 (СССР). Способ контроля перпндикулярности осей двух валов / А.Н. Гормаков и др. Опубл. Бюл. 1991. №14.
3. А.с. 1755043 (СССР). Способ выставления отражателя перпендикулярно оси поворота вала / А.Н. Гормаков и др. Опубл. Бюл. 1992. № 30.

К ВЫБОРУ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Уфимцева Е.О.

Научный руководитель: Винокуров Б.Б. доцент, к.н.т

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина, 30
E-mail: jane111@sibmail.com

С развитием техники повышаются требования к ассортименту и качеству нефтей и нефтепродуктов.

Нефть – это природная горючая маслянистая жидкость, распространенная в осадочной оболочке Земли; важнейшее полезное ископаемое. В состав нефти входит смесь углеводородов самого разнообразного строения. Их молекулы представляют собой и короткие цепи атомов углерода, и длинные, и нормальные, и разветвленные, и замкнутые в кольца, и многокольчатые. Путем перегонки из нее получают различные продукты нефти: бензин, реактивное топливо, осветительный керосин, дизельное топливо, мазут.

Качество нефти, необходимо контролировать непосредственно при выходе из нефтяного пласта и в процессе всего технологического процесса.

Нефть, получаемая из скважин, содержит частицы горных пород, воду, а также растворенные в ней соли и газы. И прежде чем попасть на нефтеперерабатывающий завод нефть проходит тщательную подготовку.

1.1 Дегазация нефти

Удаление газа из нефти – дегазация проводится с помощью сепарации и стабилизации.

В условиях нефтяного пласта при высоком давлении газы растворены в нефти. При подъеме нефти на земную поверхность давление падает и растворенный газ выделяется. Важно в этот момент уловить его. Существует несколько способов отделения газа от нефти на промысле, различающихся условиями перемещения нефти и газа.

Один из способов характеризуются тем, что газ отделяют от нефти на кратчайшем расстоянии от скважины. После отделения газа к центральным пунктам сбора перемещается только нефть.

1.2. **Стабилизация нефти**

После многоступенчатой промысловой сепарации в нефти остается весьма значительное количество углеводородов. Значительная часть этих углеводородов может быть потеряна при перекачках из резервуара в резервуар, при хранении и транспортировке нефти. Вместе с газами теряются ценные легкие бензиновые фракции. Чтобы это избежать используют установки стабилизации нефти. Для большинства нефтей стабилизация производится на установках с применением ректификации.

1.3. **Способы разрушения нефтяных эмульсий**

Для того чтобы разрушить эмульсии, в промышленной практике применяются следующие процессы:

• механические – фильтрование, обработка ультразвуком;

• термические – подогрев и отстаивание нефти от воды, промывка горячей водой;

• электрические– обработка в электрическом поле переменного и постоянного тока;

• химические – обработка различными деэмульгаторами.

1.4. **Обезвоживание обессоливание нефти**

Существует два типа технологических процессов удаления воды и солей – обезвоживание и обессоливание. В основе обоих процессов лежит разрушение нефтяных эмульсий. Однако при обезвоживании разрушаются природные эмульсии, те, которые образовались в результате интенсивного перемешивания нефти с буровой водой. Обезвоживание проводится на промыслах и является наряду с дегазацией первым этапом подготовки нефти к транспортировке и переработке. При обессоливании обезвоженную нефть смешивают с пресной водой, создавая искусственную эмульсию, которая затем разрушается. Обессоливание нефти проводится на промыслах и нефтеперерабатывающих заводах.

После подготовки, сырую нефть поставляют на нефтеперерабатывающие заводы, где в процессе переработки из нее получают различные виды нефтепродуктов. Качество, как сырой нефти, так и нефтепродуктов, получаемых из нее, определяется ее составом: именно он определяет направление переработки нефти и влияет на конечные продукты.

Технология переработки нефти – производство нефтепродуктов.

Процесс переработки нефти можно разделить на 3 основных этапа:

1. Разделение нефтяного сырья на фракции, различающиеся по интервалам температур кипения (первичная переработка).

2. Переработка полученных фракций путем химических превращений, содержащихся в них углеводородов и выработка компонентов товарных нефтепродуктов (вторичная переработка).

3. Смешение компонентов с вовлечением, при необходимости, различных присадок, с получением товарных нефтепродуктов с заданными показателями качества (товарное производство).

Продукцией НПЗ являются моторные и котельные топлива, сжиженные газы, различные виды сырья для нефтехимических производств, а также, в зависимости от технологической схемы предприятия – смазочные, гидравлические и иные масла, битумы, нефтяные коксы, парафины. Исходя из набора технологических процессов, на НПЗ может быть получено от 5 до более 40 позиций товарных нефтепродуктов,

Нефтепродукты обладают физическими свойствами такими как: вязкость; электропроводность; диэлектрическая проницаемость; влажность; теплопроводность, одним из самым важным является плотность.

Плотность любой жидкости, в том числе и топлива, изменяется с изменением температуры. Для большинства нефтепродуктов плотность уменьшается с увеличением температуры.

Существует широкий выбор методов, которые позволяют измерить плотность с высокой точностью.

Для этого необходимо учитывает различные факторы непосредственно в резервуаре:

• температурный режим (условие нормальной, высокой или низких температур),

• режим давления (нормальное давление, высокое давление, вакуум),

• «динамика» изменения уровня,

• способ заполнения резервуара.

Что касается внешней среды: температуру внешней среды и атмосферное давление.

Основные требования к средствам измерения плотности.

• диапазон измерения плотности;

• параметры выходных сигналов (аналоговый нормированный, цифровой);

• необходимость дистанционной передачи показаний;

• погрешность измерений плотности;

• воспроизводимость результатов измерения;

• степень защиты от влияния мешающих факторов.

Наиболее распространенными методами измерения плотности являются ареометрический, вибрационные, ультразвуковые плотномеры, гидростатические плотномеры и т. д.

Ареометрический метод

Метод основан на использовании показаний ареометра (нефтеденсиметра), который представляет собой стеклянный цилиндрический корпус, заканчивающийся в верхней части запаянным стержнем с помещенным внутри градуировочной шкалой плотности.

Ультразвуковые плотномеры

Принцип действия плотномера основан на преобразовании величины выталкивающей силы, действующей на погруженный в жидкость поплавок известного объема и массы, в перемещение упругого элемента (мембраны).

Гидростатический плотномер

Этот метод является самым эффективным при измерении плотности нефтепродуктов, так, как показания не зависят от скорости потока жидкости и ее поверхностного натяжения, удобно передавать показания на расстояния.

Достоинства этих приборов: измерительная часть прибора не погружается в жидкость. Плотность контролируемой среды определяется через перепад гидростатического давления на погружаемом чувствительном элементе, представляющий собой разность давлений, измеренных ячейкой измерительного давления 1 и ячейкой измерительного давления 2, которые представляет собой два преобразователя давления, которые установлены в погружаемом чувствительном элементе на расстоянии друг от друга (рис. 1).

Датчик обеспечивает получение малых дополнительных погрешностей в диапазоне условий эксплуатации и предназначен для построения систем объемно-массового учета.

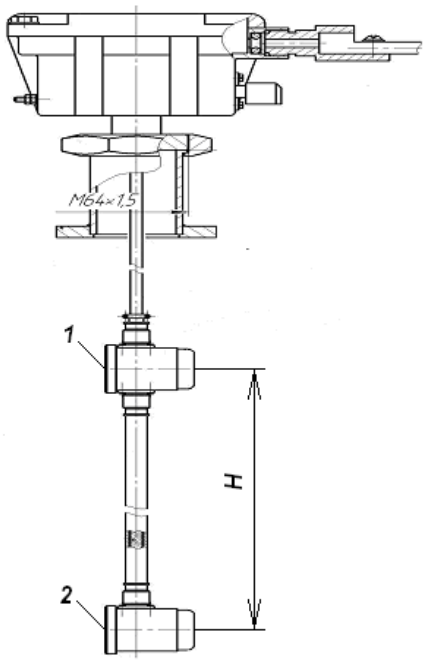


Рис. 1

Список литературы

1. Гаузнер С.Н., Кивилис С.С., Осокина А.П. Измерение массы, объема и плотности.
2. Антипьев В.Н., Бахмат Г.В., Васильев Г.Г. и др. Хранение нефти и нефтепродуктов / под общей ред. Ю.Д. Земенкова.

УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ

Хоменко Д.Б., Акмайкин Д.А.

Научный руководитель: Завьялов В.В., д.т.н., профессор

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а
E-mail: akmaykin@msun.ru

Увеличение интенсивности судоходства за последние десятилетия повлекло за собой и увеличение количества навигационных аварий. Часто при расследовании аварий устанавливается причина аварии – незнание судоводителями маневренных характеристик судна в текущих условиях плавания (посадка на грунт танкера «Кривбасс», посадка на грунт балкера «Маршалл Конев», столкновение танкера «Хулио Антонио Мелья» и ряд других) [1]. Это обусловлено тем, что маневренность судна не является постоянной. Изменение маневренности происходит под действием различных факторов (загрузки, крена, дифферента, ветра, течения и т. д.)

Несколько лет назад Международная Морская Организация (ИМО) и подкомитет ИМО по безопасности, издали ряд резолюций, регламентирующих программу ходовых испытаний для судна в эксплуатации. К ним относятся резолюции A601(15) «Требования к отображению маневренной информации на судах», MSC.137(76) «Стандарты маневренных качеств судов», циркулярное письмо (MSC/Circ.1053) «Пояснения стандартам маневренных качеств судна» [2].

В соответствии с требованиями этих документов на ходовом мостике должна быть представлена информация о маневренных характеристиках судна, откорректированная после модернизации или переоборудования судна. Данная информация содержит основные характеристики судна и подробную информацию о маневренных и инерционных характеристиках судна [3].

Однако, несмотря на обширный перечень представленной информации, оперативное использование данной информации в реальных условиях судовождения затруднительно, т. к. информация представлена в основном в таблицах для определенных условий движения. В реальных условиях судоходства, судоводителю потребуется непозволительно большое время, для определения

маневренных характеристик его судна в текущих условиях плавания. Часто изменение маневренных характеристик судна нелинейно относительно основных факторов судоходства, а часть из них практически невозможно учесть без специального оборудования и учета предыдущих маневров.

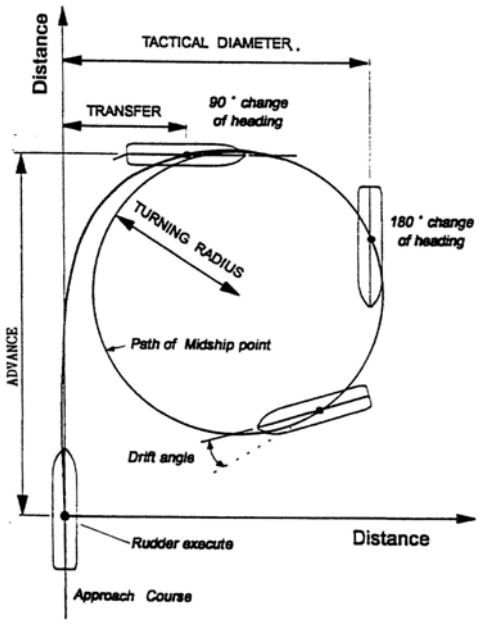


Рис. 1. Пример данных представляемых при осуществлении маневра циркуляции

Для оценки представленных предположений на танкере «Port Said» был проведен ряд экспериментов с различной загрузкой.

Основные характеристики танкера «Port Said»:

Длинна .....146.6 м
Водоизмещение .....22190 мт
Осадка .....Н 8.9 м, К 9.5 м
Скорость ..... от 12.6 до 14.1 узла

Эксперимент проводился при полной загрузке сырой нефтью разной плотности. Было выявлено значительное отклонение траектории маневра циркуляции уже при первом повороте на угол 10^{O}.

В качестве груза рассматривалась сырая нефть плотностью: $\rho = 0.8086$ т/м^3, $\rho = 0.8246$ т/м^3, $\rho = 0.8459$ т/м^3.

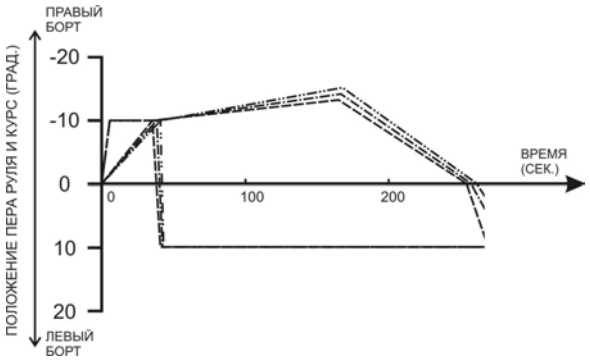


Рис. 2. Эксперимент на танкере «Port Said» при маневрировани с грузом разной плотности

Из рис. 2 видно, что при повороте руля, уже через половину минуты траектория судна не совпадает с расчетной, и приведенной из данных при заводских испытаниях. Причем следует отметить, что во всех трех случаях судно было загружено полностью. При меньшей загрузке поворотливость судна меняется в разы, и прогнозировать маневр в такой ситуации становится еще сложнее. На основании полученных характеристик движения судна предположим следующий маневр реальной ситуации – расхождение с судном идущим встречным курсом с перекладкой руля на левый, и уход от столкновения с внезапно возникшим препятствием по левому борту с перекладкой руля на правый. Из-за существенных различий в маневренных характеристиках в зависимости от загрузки этот маневр может оказаться как безопасным расхождением, так и привести к аварии с тяжелыми последствиями.

Для оценки изменения маневренных характеристик судна, первая часть представленного маневра апроксимировалась квадратическим полиномом. В результате получили коэффициенты, полученные в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты полинома описывающего траекторию поворота

Плотность груза / К-т полинома	$\rho = 0.8086$	$\rho = 0.8246$	$\rho = 0.8459$
p_1	-1.234×10^4	-1.403×10^4	-1.592×10^4
p_2	0.2964	0.3176	0.3414

Используя приведенные в статье результаты описывающие движение судна при различных условиях, возможно, создать систему, позволяющую точнее рассчитывать маневр на существующем в настоящее время оборудовании, использую дополнительные данные для расчетов. Данные для рассматриваемой системы (координаты, скорость) возможно, принимать с уже установленного на судне оборудования (судовая РЛС, GPS, лаг). Это позволяет существенно упростить создание и ввод в эксплуатацию предлагаемой системы, так как на судне не потребуется установка дополнительного оборудования.

В целях облегчения судоводителю решения задачи о расхождении судна с соседними судами в современных радиолокационных станциях (РЛС) установлен модуль проигрывания маневра (выхода на следующий участок маршрута, по расхождению с другими судами, тренировочное проигрывание). Опыт использования РЛС с модулем проигрывания маневра позволяет сделать предположение, что во всех подобных системах для проигрывания маневров расхождения используются коэффициенты, полученные при заводских испытаниях судна при полной загрузке и минимальном влиянии окружающей среды. Также такие системы не учитывают дополнительные факторы, влияющие на динамические параметры движения

судна, такие например, как: степень загрузки, плотность груза, сила и направление морского волнения, сила ветра, течения и т.п.

Используя существующее в настоящее время на судах навигационное оборудование, видится возможным, создать систему, позволяющую точнее рассчитывать маневр расхождения судов, используя дополнительные данные для расчетов. Данные для такой системы (координаты, скорость, дрейф, снос, глубина под килем и пр.) возможно, принимать с уже установленного на судне оборудования (судовая РЛС, система позиционирования, лаг, эхолот и др.). Это позволит существенно упростить создание и ввод в эксплуатацию предлагаемой системы, так как на судне не потребуется установка дополнительного оборудования.

В такой системе, для проигрывания маневра изначально будут использоваться параметры движения судна, полученные при заводских испытаниях либо предыдущих параметрах движения. В дальнейшем, коэффициенты, описывающие траекторию движения судна, корректируются автоматически, каждый раз при изменении, как собственных параметров судна (характер, масса груза и особенности загрузки), так окружающей среды (ветер, течения, волнение). Для этого, судну необходимо совершить движение, отличное от прямолинейного, что в условиях эксплуатации судна неизбежно. Помимо более точного проигрывания маневра, такая система могла бы показывать будущую траекторию движения судна на экране, относительно окружающей обстановки. При повороте пера руля, система показывала бы будущую траекторию движения судна, относительно других судов и предупреждала бы судоводителя о возможной аварийной ситуации. Создание такой системы, позволит увеличить безопасность мореплавания и снизить вероятность морских катастроф.

Список литературы

1. Типичные аварийные случаи с морскими судами / отв. ред. Г.М. Овчинников. – СПб.: ЦНИМФ. – 1994. – 90 с
2. Резолюция ИМО А.601(15) // Сборник резолюций № 2 ИМО. – СПб.: ЦНИИМФ. – 1994. – С. 76–83.
3. Антонов В.А., Письменный М.Н. Теоретические основы управления судном: учеб. пособ., 2-е изд-е., переработ. и дополн. – МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2007. – 78 с.

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Христолюбов А.А.

Научный руководитель: Голиков А.Н., старший преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: FreeMan007@sibmail.com

В ряде технических задач возникает необходимость применения немагнитных металлов и материалов, например, в опорно-поворотных узлах тихоходных механизмов.

В работе рассматривается натурная модель опорно-поворотного узла, выполненного из алюминиевых колец с твердостью 128 НВ и тел качения с твердостью 60 HRC. Форма дорожек качения – конические поверхности с углом раскрытия – 90 градусов.

Целью исследований являлись:

• оценка предельной работоспособности модели при контактных напряжениях соприкасающихся тел не превышающих допустимые значения;

• оценка сближения колец за счет деформации материала.

Ось вращения опоры вертикальная, нагрузка – осевая, смещение центра масс вращающейся части от оси минимальное.

Расчетная оценка возможных допустимых контактных напряжений, в материалах применяемых для исследований производилась с использованием формулы определяющей несущую способность соединения [1]

$$P = 4{,}65\left(\frac{d}{E}\right)^2\left(\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0}\right)^3 ,$$

где P – нагрузка действующая на соединение; d – диаметр меньшей сферы; E – приведенный модуль упругости; σ_0 – безразмерная величина; $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение соединения.

При значениях диаметра тел качения 8 мм и справочных данных механических характеристик контактирующих материалов расчетная предельно допустимая нагрузка на опору не должна превышать 1900 Н или не более 35 Н в контакте.

Исследования проводились на специально разработанной установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1, а общий вид рис. 2.

Установка состоит из основания 1 (притирочная плита 400х630 мм) с подъемными винтами 2, на котором закреплена планшайба 3 (поворотный стол 250 мм), нижнее кольцо подшипника 4 с шариками 5 и верхним кольцом 6. На верхнем кольце устанавливалась планшайба УСП 7 диаметром 250 мм с закрепленными к ней призмами 8. В призмы укладывался набор цилиндрических грузов 9. Вся установка размещалась на металлическом лабораторном столе 10.

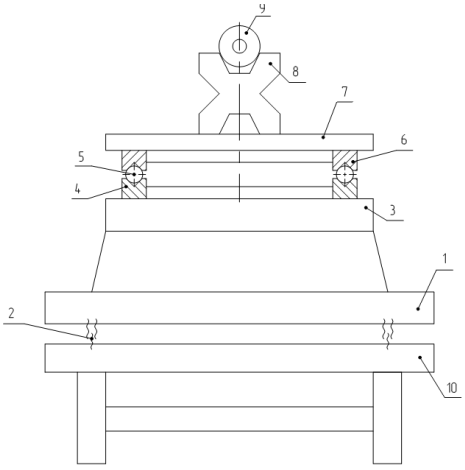


Рис. 1. Схема макета опорно-поворотного узла

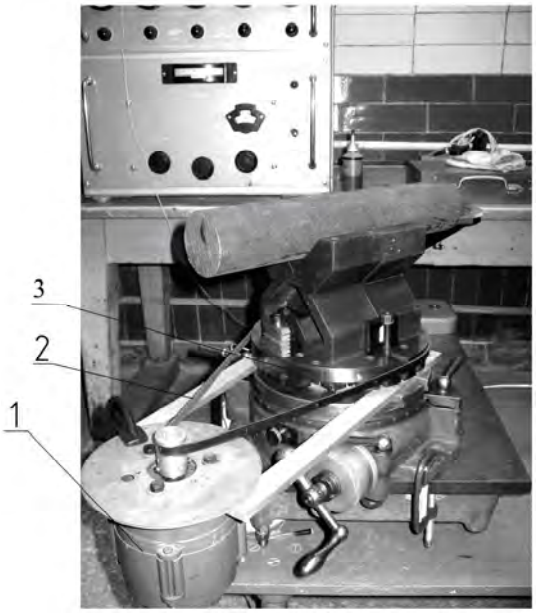


Рис. 2. Общий вид установки: 1 – двигатель; 2 – ременная передача; 3 – подвижная часть на исследуемой опоре

При выполнения исследований применялись следующее средства измерений и контроля:

1. Нутрометр индикаторный модель НИ 50А, с индикатором типа ИЧ 10, класс 1 (цена деления индикатора 0,01мм). Применяется для оценки сближения колец;

2. Микроскоп отчетный МИР-2 (цена деления от 0,0058 мм до 0,036 мм);

3. Микроскоп МБС-9 – для визуального контроля поверхностей беговых дорожек;

4. Пузырьковый уровень (цена деления 10″).

Сближение колец измерялось при помощи нутромера, ширина беговых дорожек – микроскопом отсчетным, а глубина беговых дорожек определялось расчетным путем [2].

На рис. 3 представлена экспериментальная характеристика деформации канавок беговых дорожек по глубине за весь период циклического воздействия при осевых нагрузках от 700Н до 1300Н. Контроль сближения шести точек подвижной части установки производился относительно одной базовой точки на неподвижной части установки. Из рисунка 3 видно, что сближение колец за $2 \cdot 10^5$ циклов составило не более 25 мкм.

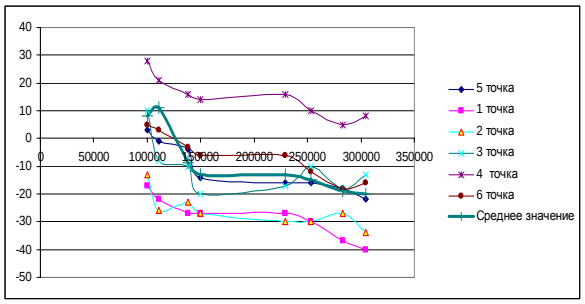


Рис. 3. Сближение колец за $2 \cdot 10^5$ циклов

Качание оси вращения опоры от вертикали контролировалось пузырьковым уровнем. Отклонения не превышали ± 10″. Регулировка этого положения обеспечивалась подъемными винтами установки.

В качестве смазки применялись жидкие минеральные масла.

Общий вид контактирующих тел представлен на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид контактирующих тел

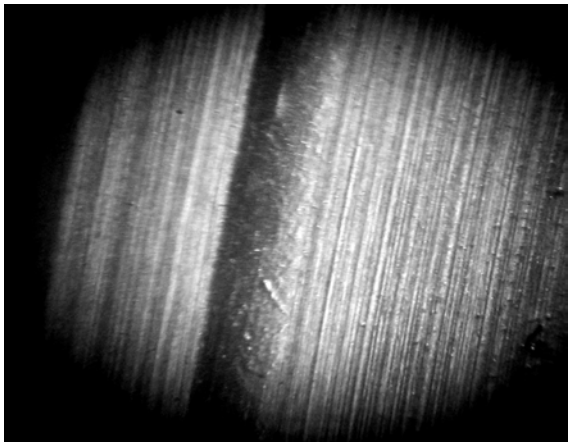


Рис. 5. Вид беговой дорожки

В ходе исследований получены следующие результаты:

• произведено более $5 \cdot 10^5$ воздействий на кольца опоры при контактных нагрузках не превышающих допустимых расчетных значений;

• на шариках не обнаружено следов механических воздействий.

Ширина дорожки 0,686 мм:

• состояние беговых дорожек колец удовлетворительное. Шероховатость поверхностей дорожек колец сравнима с шероховатостью поверхностей шариков (рис. 5). Вместе с этим имеются редкие локальные дефекты типа царапин или небольших вмятин, обусловленных, либо внутренней структурой материала (пористость). Имелись деформации в виде нескольких небольших вмятин – следов от шариков. Эти деформации обусловлены завышенными механическими воздействиями при неоднократных разборках и сборках опорного узла при выполнении контроля состояния поверхностей исследуемых деталей, а так же ударами при установке грузов;

• следов питинга на поверхности беговых дорожек колец не обнаружено, т. к. суммарная нагрузка была примерно на 35% ниже расчетных значений.

При значениях нагрузки примерно на 30 % ниже расчетных проявились эффекты усталости материала колец.

Список литературы

1. Орлов П.И. Основы конструирования в 2 томах. – М., «Машиностроение», 1988. – 560с.
2. Христолюбов А.А «Влияние циклических нагрузок на состояние деталей из алюминиевого сплава» // Выпускная квалификационная работа / руководитель Голиков А.Н. –Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 68 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СПЕКТРОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ АЭСА

Шахов А.В., Слептерев В.А.

Научный руководитель Кузнецов А.А., д.т.н., профессор

Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35
E-mail: ShahovAV@omgups.ru

Системы контроля качества материалов в настоящее время широко используются на транспорте и в промышленности при ремонте и изготовлении сложной техники, к которой относится подвижной состав железных дорог. Большое внимание отводится надежности и безопасности технических средств подвижного состава. В условиях локомотивного депо и ремонтных предприятий ежедневно приходится сталкиваться с деталями, выполненными из большого числа материалов. При этом недопустима подмена одной марки материала другой, поскольку возникает опасность невыполнения заложенных физико-механических свойств, таких как прочность, упругость, коррозиестойкость и других.

Использование автоматизированных систем контроля налагает особые требования принятия решения без участия человека. Большое значение уделяется переносу накопленного опыта специалистов и его воплощению в методическом и программном обеспечении автоматизированных систем контроля. Одним из лучших спектрометров, производимых на сегодняшний день в России, является «Аргон-5СФ», выпускаемый ООО «Спектрософт».

Эмиссионный спектральный анализ относится к косвенным методам измерения [1]. Измеряемой величиной является концентрация элемента примеси в различных материалах и сплавах, которая является функцией аргументов, определяемых прямыми измерениями. Прямым способом, как правило, измеряются параметры интенсивности излучения одной или нескольких спектральных линий в испытуемой пробе и стандартных образцах с известным количественным составом.

Для распознавания и измерения параметров нужных аналитических линий строят калибровочную зависимость в координатах (номер пикселя – длина волны), аналогично дисперсионной кривой в системах с фотографической регистрацией спектров. Для экспериментального определения формы и параметров уравнения калибровочной зависимости в полном спектре выбирают несколько хорошо известных реперных линий. Такие линии служат для коррекции возможного смещения анализируемых участков спектра вследствие изменения температуры и других влияющих факторов.

Вследствие температурного смещения спектра возможно возникновение такой ситуации, когда его величина будет соизмерима с расстоянием между соседними близлежащими линиями. В этом случае произойдет грубая ошибка определения количественного содержания элемента [2].

Задачей предлагаемого способа является повышение точности идентификации и измерения параметров спектральных линий. Для повышения точности идентификации и последующего измерения параметров спектральных линий предлагается использовать двухступенчатый алгоритм.

На первом шаге используется дисперсионная зависимость длины волны спектральной линии от смещения (номера) регистрирующего фотодиода ПЗС. Привязку спектра к длинам волн выполняют

по реперным линиям, при этом коэффициент корреляции для экспериментальной и теоретической зависимости должен равняться единице. Пример режима привязки длин волн для алюминиевого сплава типа ALSUS8, в диапазоне 300 – 390 нм, выполненный при программного обеспеченья спектрометра «Аргон-5», показан на рис. 1 и 2.

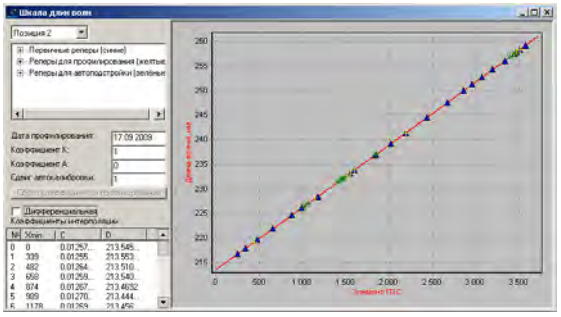


Рис. 1. Привязка длин волн к номеру пикселя в программе SP

На втором шаге используют моделирование участков спектра, содержащего анализируемую линию с характерными линиями, всегда присутствующими в спектре рассматриваемого материала, математическим выражением. Математическое выражение эталонного спектра принято с целью экономии вычислительных ресурсов управляющего компьютера.

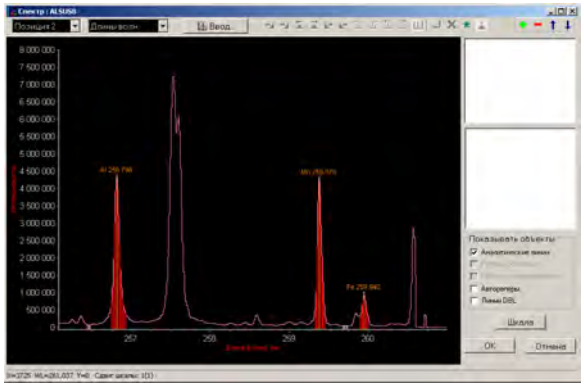


Рис. 2. Анализируемый диапазон спектра эталона ALSUS8 в программе SP

На этом шаге выполняется совмещение мгновенных значений измеренного спектра и аналитического выражения эталонного спектра. Степень соответствия оценивается взаимной корреляционной функцией при смещении эталонного спектра, относительно измеренного, на величину интервала поиска.

Непрерывное вейвлет преобразование (1) осуществляется посредством свертки

$$W(a,b)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi^{*}_{a,b}(t)dt, \qquad (1)$$

анализирующей функции $f(t)$ с двухпараметрической вейвлет функцией $\psi^{*}_{a,b}(t)$, которая получается из материнского вейвлета $\psi_0(t)$ (2).

$$\psi_{a,b}(t)=\left(1/a^{1/2}\right)\psi_0\left((t-b)/a\right). \qquad (2)$$

Параметр a называется масштабом вейвлет преобразования, отвечает за ширину вейвлета, а $b\in R$ – параметр сдвига, который определяет положение вейвлета на оси t. Множитель $1/a^{1/2}$ необходим для того, чтобы все вейвлет функции $\psi_{a,b}$ имели постоянную (единичную) норму в пространстве $L^2(R)$.

Материнский вейвлет может быть выбран произвольным образом, но он должен удовлетворять ряду условий [3]. В данном случае, в качестве аналитической функции использовано выражение, являющееся Гауссовым вейвлетом первого порядка (его аналог в Mathcad – функция wave). Он приведен в формуле (3). Несмотря на простоту его записи, при построении эталонного спектра он оказался наиболее подходящим.

$$\psi(t)=t\cdot\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right). \qquad (3)$$

Его спектральная плотность приведена в формуле (4).

$$H(\omega)=(i\omega)\cdot\sqrt{2\pi}\cdot\exp\left(-\frac{\omega^2}{2}\right). \qquad (4)$$

Графическое представление WAVE-вейвлета показано на рис. 3.

Прямое непрерывное вейвлет преобразование сигнала задается, по аналогии с преобразованием Фурье, путем вычисления вейвлет коэффициентов. После получения числового ряда, производится обратное преобразование. Восстановленный сигнал сравнивается с исходным, полученным экспериментальным путем.

Моделирование эталонного сигнала выполнено в пакете Mathcad. Результат приведен на рис. 4. Данный участок спектра подлежит последующему сравнению со спектром, полученным на установке «Аргон-5» (рис. 3).

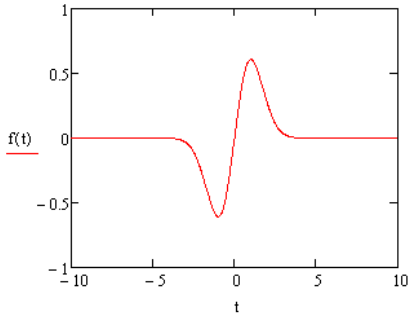


Рис. 3. Графическое изображение WAVE-вейвлета

Для определения линии анализируемого элемента из числа k характерных линий в рассматриваемом окне, ему присваивается порядковый номер $e\le k$. Далее осуществляется поиск максимума или площадь под пиком интенсивности линии анализируемого элемента, которая участвует в последующих расчетах количественного содержания.

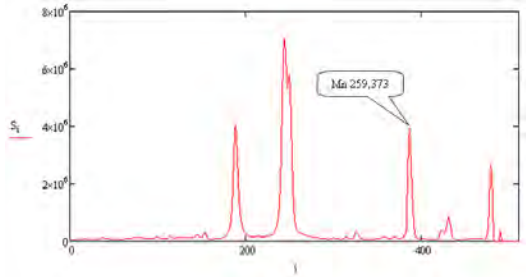


Рис. 4. Полученный экспериментальным путем диапазон спектра ALSUS8

Для распознавания нужных аналитических линий, их наличия в спектре и дальнейшего определения максимума интенсивности рассчитывается взаимно корреляционная функция. Наличие максимума вблизи нулевого значения указывает на правильность поиска и наличие нужной аналитической линии в спектре (качественный показатель идентификации).

Список литературы

1. Кузнецов А.А. Способ идентификации и измерения параметров спектральных линий в автоматизированных системах контроля / В.Н. Зажирко, А.А. Кузнецов, С.М. Овчаренко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №5. 2006. – С. 39–45.
2. Васильева И.Е. Дуговой атомно-эмиссионный анализ твердых образцов как задача искусственного интеллекта // Аналитика и контроль. № 5. Т. 6, 2002. – С. 512–527.
3. Короновский А.А, Храмов А.Е. Введение в непрерывный вейвлетный анализ для специалистов в области нелинейной динамики // Прикладная нелинейная динамика. 2001. Т. 9, №4, 5 – С. 3–50.

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Шкляр Е.И. , Миляев Д.В, Стариков С.С

Научный руководитель: Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: destroy@mail2000.ru

Приступая к изучению неизвестного биологического объекта или явления, исследователь стремится получить наиболее полную и достоверную информацию. Для этого ему приходится использовать различные методы и способы получения информации об объекте.

Эффективность получения этой информации зависит от знания экспериментатором методов исследований и умения их применить в соответствии с поставленной задачей.

Предмет изучаемой дисциплины – совокупность аппаратных методов исследований, позволяющих с возможно большей объективностью определить состояние артериального давления (АД).

В современном мире существует несколько методов измерения АД, все они делятся на инвазивные и неивазивные. Применение инвазивного метода практически не используется на практике, его применяют только в экстренных случаях для диагностики работы сердца. Неивазивные методы нашли широкое применение в медицине, на данный момент человечество использует манжетные и безманжетные методы измерения АД. Под манжетными методами подразумеваются метод Короткова (аускультативный) и осциллометрический метод.

1.1. Аускультативный метод

Этот метод был изобретён русским хирургом Н.С. Коротковым в 1905 году.

Он использует для измерения очень простой прибор, состоящий из механического манометра, манжеты с грушей и фонендоскопа. Метод основан на полном пережатии манжетой плечевой артерии и выслушивании тонов, возникающих при медленном выпуске воздуха из манжеты.

Преимущества:

1) признан официальным эталоном неинвазивного измерения артериального измерения АД для диагностических целей и при проведении верификации автоматических измерителей АД;

2) обладает повышенной устойчивостью к движениям руки.

Недостатки:

1) чувствителен к шумам в помещении, точности расположения головки фонендоскопа относительно артерии;

2) требует непосредственного контакта манжеты и головки микрофона с кожей пациента;

3) технически сложен и требует специального обучения;

4) зависит от индивидуальных особенностей человека, производящего измерение (хорошее зрение, слух, координация системы «руки – зрение – слух»).

1.2. Осциллометрический метод

Этот метод используется электронными приборами. Он основан на регистрации прибором пульсаций давления воздуха, возникающих в манжете при прохождении крови через сдавленный манжетой участок артерии.

Преимущества:

1) устойчив к шумовым нагрузкам;

2) позволяет производить определение АД при выраженном «аускультативном провале», «бесконечном тоне», слабых тонах Короткова;

3) значения АД не зависят от разворота манжеты и ее перемещений вдоль плеча;

4) позволяет производить измерения без потери точности через тонкую ткань одежды.

Недостаток:

1) при измерении рука должна быть неподвижна.

2. **Безманжетные методы**

Настоятельная необходимость в безманжетных средствах для мониторного неинвазивного контроля АД стимулирует непрекращающиеся попытки создания подобной аппаратуры. В основе опытных разработок этого направления лежат исследования возможностей использования тех или иных функциональных зависимостей, которые могли бы связывать величину АД с каким-либо физиологическим параметром, регистрируемым неинвазивно. В свою очередь безманжетные методы делятся:

- на фотоплетизмографический (оптический);
- импедансно-плетизмографический;
- механический.

2.1 **Фотоплетизмографический (оптический) метод**

В основу методики положено изменение сосудистых артериальных рефлексов при различных положениях конечности – превалирование сосудорасширяющего рефлекса при поднятии конечности вверх, при опускании конечности вниз превалирует сосудосуживающий рефлекс.

Метод основан на преобразовании давления (Р) в силу (Р) и измерении параметров пульсовой волны одновременно с измерением значений давления. Поскольку

$$P = \frac{F}{S} \qquad (1)$$

где S – площадь поверхности, то, задаваясь определенным, заранее выбранным значением , мы получаем, что $P \sim F$. Если мы будем использовать датчик силы, с определенной площадью поверхности на который мы будем воздействовать артерией, то мы получим значения силы Р, пропорциональные значению давления Р. В этом качестве удобно использовать пальцевую артерию. Мы надавливаем пальцем (а точнее, пальцевой подушечкой, где находиться пальцевая артерия) на датчик силы и при этом одновременно измеряем пульсовую волну с помощью фотоэлектрического датчика, состоящего из светодиода и приемного фотодиода.

2.2. **Метод импедансной плетизмографии**

При определении параметров артериального давления (АД) крови, а именно, его систолического P_s и диастолического P_d давлений, импедансная плетизмография позволяет получить кривую изменения сопротивления участка тела человека, так называемую реограмму.

Реографический метод измерения параметров АД является сравнительно новым направлением в оценке качества функционирования сердечно-сосудистой системы человека, методически он еще недостаточно разработан и освещен в публикациях. Ему присущи такие основные недостатки как : большая методическая погрешность 20–30% и все неудобства и нежелательные последствия от использования окклюзионной манжеты. Причиной большой методической погрешности определения значений P_s и P_d АД является наложение на реограмму давления волновых процессов второго и третьего порядков, обусловленных работой других органов человека, в том числе легких и печени.

Формула для определения давления в артерии на участке фаланги пальца человека:

$$P_s = P_{\max}(t) = k\left(\frac{dR(t)}{dt}\right)_{\max}$$
$$P_d = P_{\min}(t) = k\left(\frac{dR(t)}{dt}\right)_{\min} \qquad (2)$$

2.3. **Механический метод**

Для исследования тонов и шумов сердца и записи фонокардиограмм применяются электродинамические и пьезоэлектрические микрофоны. Микрофоны относятся к числу активных (генераторных) биоуправляемых датчиков. Принцип работ динамического микрофона состоит в следующем. Акустические колебания воздействуют на эластичную мембрану 2 (рис. 1а), которая по своей окружности крепится к корпусу микрофона 1. На жёстком основании – цилиндре 3, закрепленном в центре мембраны, располагаются нитки провода катушки 4. Под действием звуковых волн катушка 4 движется в сильном магнитном поле, образованном кольцевым магнитным сердечником 5. В результате такого движения в катушке индуктируется э. д. с. звуковой частоты.

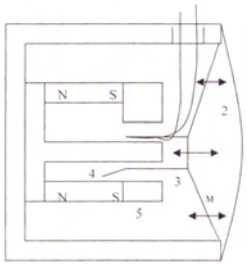


Рис. 1а

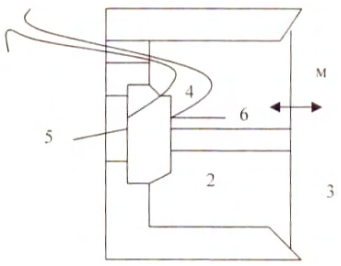


Рис. 1б

Микрофонные датчики

а – динамический микрофон: 1 – корпус, 2 – эластичная мембрана, 3 – цилиндрический каркас катушки, 4 – катушка, 5 – кольцевой магнитный сердечник;

б – пьезоэлектрический микрофон: 1 – корпус, 2 – стойка, 3 – мембрана, 4 – пьезоэлемент, 5 – 6 – посеребренные плоскости пьезоэлемента, 7 – отводящий проводник.

Электродинамические микрофоны постепенно вытесняются пьезоэлектрическими, которые по

сути дела имеют такую же конструкцию, как и пьезоэлектрические датчики пульса. Разница заключается лишь в их размерах и чувствительности. В конструкции пьезоэлектрического микрофона (рис. 1б) с открытой стороны цилиндрического корпуса 1 крепится упругая металлическая мембрана 3. Колебания мембраны передаются через недеформирующуюся стойку 2 к пьезоэлементу 4. К посеребренным плоскостям 5 и 6 пьезоэлемента припаиваются отводные проводники 7. Такой микрофон имеет диаметр 25–30 мм, высоту 10 – 15 мм, и масса его составляет всего несколько граммов. Параметры его в диапазоне низких частот не хуже параметров лучших образцов динамических микрофонов.

На основе проведенного анализа методов измерения АД можно сделать существенный вывод – на рынке продукции не существует точного универсального прибора, который смог бы хранить информацию о состоянии пациента в течение определенного времени и в тоже время быть комфортным для него, не доставляя ему ряд неудобств.

Список литературы

1. Селиванов Е.П., Блинов А.В. Измерительная техника. – 1995. – С. 64.
2. Жуковский В.Д. Медицинские электронные системы. – М.: Медицина, 1976. – С. 312.
3. Блинов А. В., Селиванов Е. П. // Измерительная техника. 1995.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭХО-ИМПУЛЬСА

Шульгина Ю.В., Солдатов А.И.

Научный руководитель: Солдатов А.И., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: chiglinseva@sibmail.com

В настоящее время в горнодобывающей промышленности является очень трудоемким процесс измерения глубины скважин, пробуренных для проведения взрывных, исследовательских и расчетных работ.

Существующие на сегодняшний день приборы не обеспечивают надлежащей точности и имеют большую величину «мертвой» зоны.

Измерение расстояния зачастую связано с волноводным распространением сигнала. При прохождении по волноводу, ультразвуковой импульс претерпевает существенные изменения. При этом, в зависимости от расстояния, у принятого импульса меняется не только амплитуда, но и длительность переднего фронта огибающей, что приводит к возникновению ошибки измерения. Существенно повысить точность измерения можно, если применить современные методы обработки эхо-сигналов. Одним из таких методов является метод двух компараторов с отличающимися порогами срабатывания.

Срабатывание первого компаратора, имеющего уровень U_1, происходит в момент времени t_1, срабатывание второго компаратора, имеющего уровень U_2, происходит в момент времени t_2. Построение прямой по координатам этих точек позволяет найти временную координату начала эхо-импульса t_p из выражения:

$$t_p = t_1 - \frac{U_1}{U_2 - U_1} \cdot (t_2 - t_1) \qquad (1)$$

Определим значение ошибки, получаемое этим методом для линейного нарастания огибающей переднего фронта эхо-импульса:

$$U_{i+1}^{\max} = U_i^{\max} + k \cdot U_1 \qquad (1)$$

где $i = 0, 1, \ldots$, k – тангенс угла наклона переднего фронта огибающей импульса, U_1 – пороговое напряжение первого компаратора.

Максимальные ошибки в моментах регистрации уровней получаются тогда, когда величины уровней U_1 и U_2 окажутся на уровне максимумов предыдущих пиков. (рис. 1)

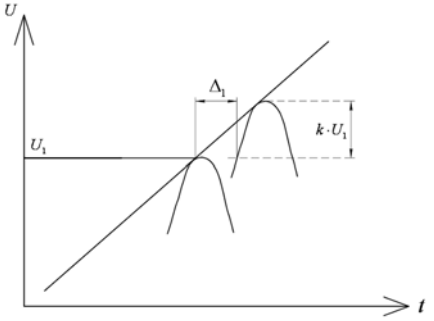


Рис. 1. Возникновения ошибки за счет первого компаратора

Максимальная амплитуда i – го периода, после срабатывания первого компаратора определяется из выражения:

$$U_i^{\max} = \frac{U_1}{\cos\frac{\Delta\varphi_1}{2}}$$

С учетом выражения (1), можно определить угол:

$$\cos\frac{\Delta\varphi_1}{2} = \frac{U_1}{U_1 + k \cdot U_1}$$

Отсюда:

$$\frac{\Delta\varphi_1}{2} = \arccos\frac{1}{1+k}$$

Зная угол можно найти ошибку в определении времени первого отсчета (рис. 1):

$$\Delta_1 = \lambda \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \arccos\left(\frac{1}{1+k}\right)\right]$$

Аналогично для второго отсчета

$$U_2 + k \cdot U_1 = \frac{U_2}{\cos\frac{\Delta\varphi_2}{2}}$$

Обозначим:

$$q = \frac{U_1}{U_2}$$

На рис. 2 показаны два крайних случая: первый случай, когда первый отсчет имеет максимальную ошибку, а второй отсчет имеет минимальную ошибку, и второй случай обратный, когда первый отсчет имеет минимальную ошибку, а второй отсчет имеет максимальную ошибку. Точки *A* и *B* соответствуют идеальной огибающей, точки *C* и *D* соответствуют ошибкам в отсчетах.

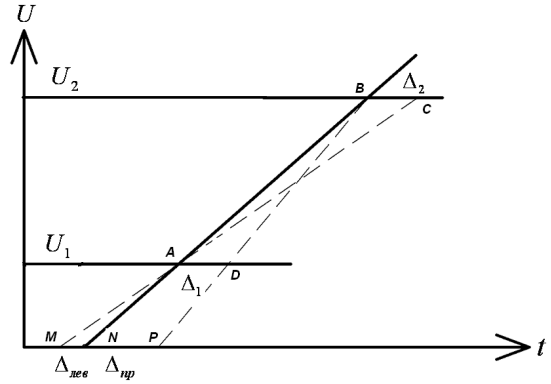


Рис. 2. Построение огибающей переднего фронта эхо-импульса по двум отсчетам, прямая NB – идеальный случай, прямая MC – при наличии ошибки второго компаратора, прямая BP – при наличии ошибки первого компаратора

Из подобия треугольников ΔADB и ΔNBP можно записать выражение:

$$\frac{\Delta_{пр}}{\Delta_1} = \frac{U_2}{U_2 - U_1}$$

Отсюда:

$$\Delta_{пр} = \Delta_1 \cdot \frac{1}{1-q}$$

Из подобия треугольников ΔABC и ΔMAN можно записать выражение:

$$\frac{\Delta_{лев}}{\Delta_2} = \frac{U_1}{U_2 - U_1}$$

Отсюда:

$$\Delta_{лев} = \Delta_2 \cdot \frac{q}{1-q}$$

Результирующая ошибка находиться как сумма ошибок:

$$\Delta_{лев} + \Delta_{пр} = \Delta_2 \cdot \frac{q}{1-q} + \Delta_1 \cdot \frac{1}{1-q}$$

После проведения математического анализа, было получено выражение для определения относительной ошибки при 95% доверительном интервале:

$$\frac{\Delta}{\lambda} = \frac{1}{1-q} \cdot \left[1 + q - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (\arccos\frac{1}{1+k} + q \cdot \arccos\frac{1}{1+k})\right] \quad (3)$$

Чем круче огибающая переднего фронта (чем больше k) тем меньше ошибка в определении начала эхо-импульса. С увеличением разницы в установлении порогов компараторов U_1 и U_2 (чем меньше q) уменьшается ошибка в определении времени начала эхо-импульса. Влияние разницы в порогах проявляется сильнее, чем влияние крутизны переднего фронта огибающей.

Максимальная же ошибка получается при срабатывании компараторов в один период принятого сигнала. Однако такой случай маловероятен и в статье не рассматривается.

Для оценки правильности полученных теоретических результатов с использованием этого метода были проведены лабораторные испытания, которые показали, что точность измерений напрямую зависит от величины выбранных порогов срабатывания компараторов.

На рис. 3. приведены графики теоретического и экспериментального значения зависимости максимальной ошибки измерения от величины порога второго компаратора, при этом порог первого компаратора был выбран немного выше уровня шумов.

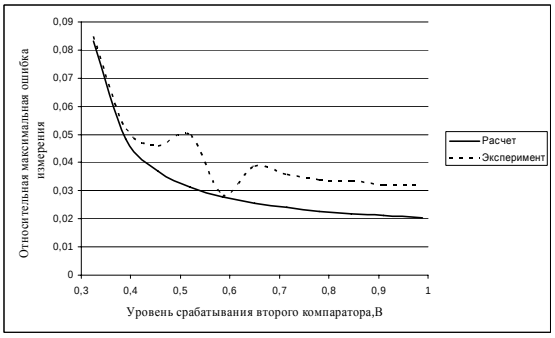


Рис. 3. График зависимости максимальной ошибки измерения от величины порога второго компаратора

Из графика видно, что с увеличением значения порога срабатывания второго компаратора уменьшается погрешность измерения при постоянном уровне срабатывания первого компаратора. Отличие экспериментальной и расчетной зависимости объясняется разной скоростью нарастания огибающей переднего фронта, что не было учтено при моделировании.

Таким образом, применение метода двух компараторов позволяет значительно увеличить точность измерения ультразвуковых локационных устройств.

Список литературы

1. Soldatov A.I., Chiglinseva J.V. Ultrasonic borehole depth-gauge // International siberian conference on control and communications (SIBCON-2009). Proceeding – Tomsk, March 27–28, 2009. – Tomsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch, 2009. – С. 313–317
2. Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В. Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 85–89.

ДИСКРЕТНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР С ЦИФРОВЫМ КАНАЛОМ УПРАВЛЕНИЯ

Юрченков В.А

Научный руководитель: Бычков В.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
ООО НПП «ТЭК» 634040, Россия, г. ТОМСК, ул. Высоцкого, 33
E-mail: Nightroad@sibmail.com

ПИД-регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Около 90...95% [1] регуляторов, находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД алгоритм. Причиной столь высокой популярности является простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость. Среди Пид-регуляторов 64% занимают одноконтурные регуляторы и 36% – многоконтурные. Контроллеры с обратной связью охватывают 85% всех приложений, контроллеры с прямой связью – 6% и контроллеры, соединенные каскадно – 9% [2].

После появления дешевых микропроцессоров и аналого-цифровых преобразователей в промышленных ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, нейронные сети, генетические алгоритмы, методы нечеткой логики. Усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной связью, со встроенной моделью процесса. Кроме функции регулирования в ПИД контроллер были введены функции аварийной сигнализации, контроля разрыва контура регулирования, выхода за границы динамического диапазона и др.[3]

Несмотря на долгую историю развития и большое количество публикаций, остаются проблемы в вопросах устранения интегрального насыщения, регулирования объектов с гистерезисом и нелинейностями, автоматической настройки и адаптации.[4] Практические реализации ПИД контроллеров не всегда содержат антиалиасные фильтры, чрезмерный шум и внешние возмущения затрудняют настройку параметров. Проблемы усложняются тем, что в современных системах управления динамика часто неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, нагрузка непостоянна, технологические процессы непрерывны.[5] Таким образом, при практической реализации дискретного ПИД-регулятора были выявлены и решены следующие технические проблемы:

• конечный динамический диапазон изменений физических переменных в системе (например, ограниченная мощность нагревателя, ограниченная пропускная способность клапана);

• не всегда существующая возможность изменения знака управляющего воздействия (например, в системе поддержания температуры часто отсутствует холодильник, двигатель может не иметь реверсивного хода, далеко не каждый самолёт имеет систему отрицательной тяги);

• ограниченная точность измерений, что требует специальных мер для выполнения операции дифференцирования с приемлемой погрешностью;

• наличие практически во всех системах типовых нелинейностей: насыщение (ограничение динамического диапазона изменения переменных), ограничение скорости нарастания, гистерезис и люфт;

• технологический разброс и случайные вариации параметров регулятора и объекта;

• дискретная реализация регулятора;

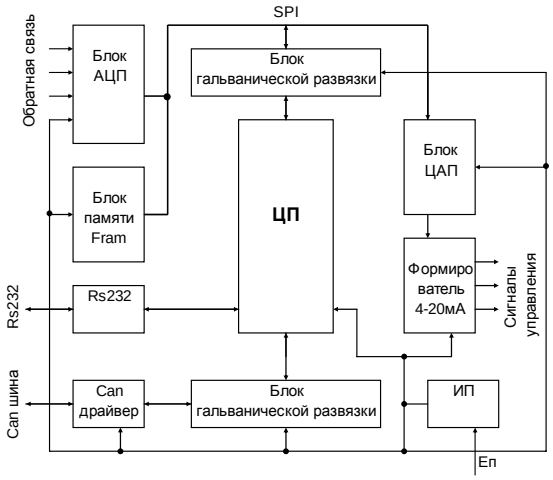


Рис. 1. Структурная схема модуля регулятора

Описание работы модуля

Структурная схема модуля приведена на рис. 1. Цифровой регулятор представляет собой модуль, входящий в состав измерительно-вычислительного комплекса «Микро-Тек09» Функционально модуль регулятора состоит из следующих блоков: микроконтроллер, блок источника питания, блок трехканального аналого-цифрового преобразователя, блок энергонезависимой памяти Fram, блоки гальванической развязки, блок трехканального цифро-аналогового преобразователя, блок преобразователя «напряжение-ток», блоки формирования интерфейсов Rs232, Can.

Управление объектом регулирования может осуществляться посредством аналогового сигнала 4–20 мА, либо по цифровому Can – интерфейсу. В первом случае выходной сигнал формируется

микроконтроллером и по последовательной шине SPI передается на блок ЦАП, где происходит преобразование цифрового кода в напряжение. Преобразователь «напряжение-ток» преобразует сигнал, поступающий с ЦАП, в выходной токовый сигнал который поступает на объект регулирования. Во втором случае сигнал управления передается через блок гальванической развязки на формирователь Can интерфейса и далее на объект управления.

Микроконтроллер содержит математическую модель ПИД-регулятора и на основе входных параметров осуществляет управление объектом. К данным параметрам относятся: *сигнал обратной связи*, который поступает на блок АЦП и далее по SPI шине в микроконтроллер, *коэффициенты математической модели* регулятора (пропорциональный, интегральный, дифференциальный), *значение уставки*, *зона нечувствительности* (это минимальный сигнал ошибки, который отрабатывает ПИД-регулятор). Введение данного параметра обусловлено неидеальным объектом регулирования. Практически в любом механизме присутствуют люфты, транспортные задержки, а также любая система обладает конечной чувствительностью. Введение зоны нечувствительности в ПИД-регулятор позволяет существенно увеличить его устойчивость и уменьшить влияние всех перечисленных выше факторов.

Для предварительной настройки, отладки и проверки модуля регулятора используется интерфейс RS232 с протоколом ModBus RTU. Применение данного интерфейса позволяет без труда проверить работоспособность модуля, подключив его напрямую к компьютеру.

Для связи модуля регулятора с основным измерительно-вычислительным комплексом используется высокоскоростная Can шина. CAN обеспечивает высокий уровень защиты данных от повреждения даже при работе в сложных условиях (сильные помехи), при этом достигается достаточно большая скорость передачи данных (до 1 Mbit/s). Важным достоинством CAN является также то, что при разработке системы можно влиять на приоритет передаваемых сообщений таким образом, чтобы самые важные из них не ожидали в очереди на отправку. Это свойство CAN позволяет строить сети, поддерживающие реальный масштаб времени. Высокая степень и надежности сети благодаря развитым механизмам обнаружения и исправления ошибок, самоизоляции неисправных узлов, нечувствительность к высокому уровню электромагнитных помех делает Can шину идеальным выбором для применения в измерительно-вычислительном комплексе Микро-Тек 09 и модуле регулятора в частности.

Вывод

Использование Can-шины позволило создать по настоящему универсальный блок регулятора, который может быть заточен практически под любой объект управления. Применение двойного интерфейса и трех каналов управления позволяет строить многоконтурные системы управления как на основе аналоговых, так и на основе цифровых сигналов.

Список литературы

1. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 400 с.
5. Бажанов В.Л . USWO – новый способ формирования управления для замкнутых систем автоматического регулирования. – СТА, № 4, 1998. – С. 28–32.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУХЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Юшков А.В., Земан С.К., Осипов А.В.

ОП «НИИ АЭМ ТУСУР», 634034, Россия, г. Томск, ул. Белинского, 53
e-mail: AVYushkov@rambler.ru

Одним из способов реализации двухчастотного преобразователя частоты (ДПЧ) является суммирование выходных токов двух разночастотных ПЧ. Краткая характеристика таких систем, диаграммы напряжений и токов, энергетические характеристики ПЧ представлены в [1]. Данная работа посвящена расчету и оценке габаритной мощности реактивных элементов контура.

Схема сложения токов, состоящая из высокочастотного (ВЧ) и низкочастотного (НЧ) инверторов напряжения (ИН) представлена на рис. 1.

В схеме сложения токов дроссель L_f выполняет роль частотного фильтра и блокирует протекание ВЧ тока через конденсатор C_f. Конденсатор C_n кроме компенсации реактивной мощности индуктора на высокой частоте блокирует протекание низкочастотного тока в цепи ВЧ инвертора.

По данной схеме произведен расчет элементов контура на заданные резонансные частоты, при заданных параметрах индуктора L_n и фильтрующего дросселя L_f, для этого был применен метод парциальных контуров [2]. В соответствии с

этим методом колебательную систему (контур) с двумя степенями свободы следует рассматривать как две отдельных парциальных системы связанных друг с другом. На заданные высокую ω_1 и низкую ω_2 частоты получены расчетные соотношения для конденсаторов C_n и C_f:

$$C_n = \frac{\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right) - \sqrt{\left(\omega_1^2-\omega_2^2\right)^2 - 4\frac{L_n}{L_f}\cdot\omega_1^2\cdot\omega_2^2}}{2L_n\cdot\omega_1^2\cdot\omega_2^2},$$

$$C_f = \frac{C_n}{L_f C_n\left(\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)-\frac{1}{L_n C_n}\right)-1}.$$

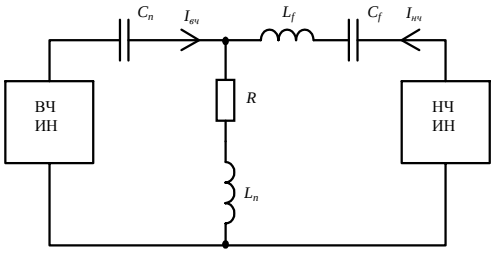


Рис. 1. ДПЧ с суммированием токов в общем узле

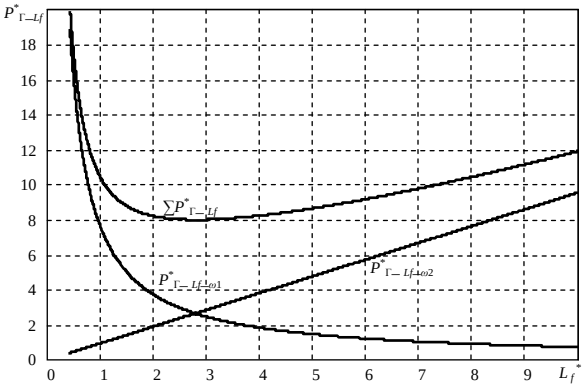


Рис. 2. Габаритная мощность дросселя L_f

Габаритная мощность реактивных элементов равна и рассчитывается по соотношениям [3]:

$$P_Г = U\cdot I\ ,$$

откуда

$$P_{Г\_C} = U^2\cdot\omega C\ ,\ P_{Г\_L} = I^2\cdot\omega L\ .$$

Учитывая двухчастотный характер всех параметров системы, габаритная мощность дросселя L_f $P_{Г\_Lf}$ примет вид:

$$\Sigma P_{Г\_L_f} = \sqrt{(I^2_{L_f\_\omega1}+I^2_{L_f\_\omega2})\cdot(U^2_{L_f\_\omega1}+U^2_{L_f\_\omega2})},$$

при этом $P_{Г\_Ln}$

$$\Sigma P_{Г\_L_n} = \sqrt{(I^2_{L_n\_\omega1}+I^2_{L_n\_\omega2})\cdot(U^2_{L_n\_\omega1}+U^2_{L_n\_\omega2})}.$$

ВЧ-составляющая габаритной мощности индуктора больше НЧ-составляющей при $I_{Ln\_\omega1}=I_{Ln\_\omega2}$ в Ω раз, следовательно

$$\Sigma P^*_{Г\_L_n} = \sqrt{2\cdot\left(P_{Г\_Ln\_\omega2}\right)^2\cdot\left(\Omega^2+1\right)}\cdot$$

Далее представлены характеристики габаритных мощностей реактивных элементов контура по отношению к НЧ-составляющей габаритной мощности индуктора $P^*_{Г\_Ln\_\omega2}$ от отношения индуктивностей $L_f^*=L_f/L_n$ при $\Omega=\omega_1/\omega_2=7$.

Начальное снижение $\sum P^*_{Г\_Lf}$ объясняется уменьшением ВЧ-составляющей $P^*_{Г\_Lf\_\omega1}$. При малых значениях L_f развивается большой ВЧ ток дросселя, который по мере роста L_f уменьшается. НЧ ток дросселя не зависит от L_f, поэтому НЧ-составляющая $P^*_{Г\_Lf\_\omega2}$ растет почти линейно и $\sum P^*_{Г\_Lf}$ с ростом L_f увеличивается, несмотря на снижение $P^*_{Г\_Lf\_\omega1}$. Таким образом, с уменьшением $P^*_{Г\_Lf\_\omega1}$ и увеличением $P^*_{Г\_Lf\_\omega2}$ с ростом L_f, образуется экстремум характеристики $\sum P^*_{Г\_Lf}$.

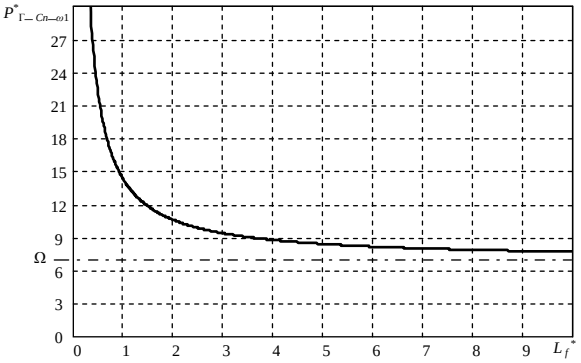


Рис. 3. Габаритная мощность конденсатора C_n по ВЧ-составляющей

Напряжение конденсатора C_n от L_f не зависит, т. к. C_n включено параллельно индуктору L_n $U_{Ln}=U_{Cn}$=const, поэтому $P^*_{Г\_Cn\_\omega2}$ в Ω раз меньше $P^*_{Г\_Cn\_\omega1}$ при $I_{Ln\_\omega1}=I_{Ln\_\omega2}$. Снижение $P^*_{Г\_Cn\_\omega1}$ с ростом L_f связано с уменьшением ВЧ тока, возникающего из-за шунтирования индуктора L_n дросселем L_f. С увеличением L_f ВЧ ток почти не шунтируется и целиком попадает в индуктор, поэтому $P^*_{Г\_Cn\_\omega1}$ асимптотически стремиться к относительной ВЧ мощности индуктора $P^*_{Г\_Ln\_\omega1}=\Omega$.

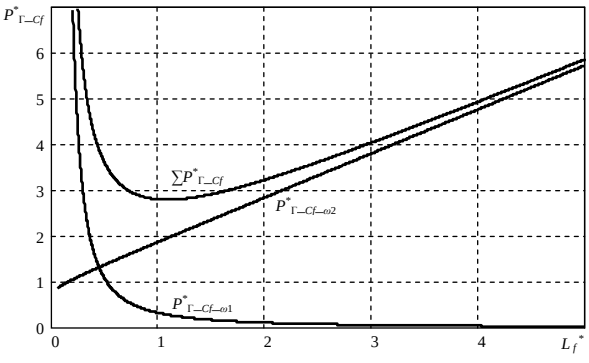


Рис. 4. Габаритная мощность конденсатора C_f

Характер зависимостей у $\sum P^*_{Г\_Cf}$ такой же, как у $\sum P^*_{Г\_Lf}$, однако, экстремум смещен на меньшие L_f, что объясняется необходимостью учета мощности конденсатора C_n.

Все приведенные выше диаграммы справедливы для случая равенства ВЧ- и НЧ-составляющих тока индуктора:

$$\delta I_{L_n} = \frac{I_{L_n-\omega_2}}{I_{L_n-\omega_1}} = 1,$$

при изменении δI_{Ln} изменится и соотношение суммарных ВЧ и НЧ-составляющих мощности элементов схемы.

На рис. 5 приведены соответствующие зависимости изменения $\sum P^*_{\Gamma\_Lf}$ при различных соотношениях составляющих тока индуктора δI_{Ln}: 0.25; 0.5; 1; 2; 3. На этих рисунках зависимости даны по отношению к суммарной мощности индуктора $\sum P^*_{\Gamma\_Ln}$.

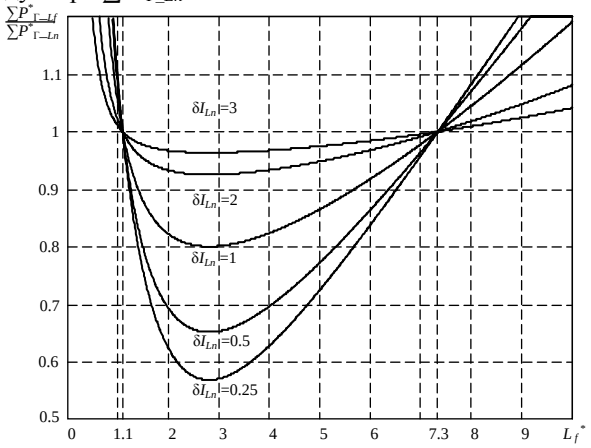


Рис. 5. Габаритная мощность дросселя L_f при различных δI_{Ln} в схеме суммирования токов

Результаты по рис. 5 показывают, что в области экстремума при увеличении δI_{Ln} $P^*_{\Gamma\_Lf}$ уменьшается и при дальнейшем росте δI_{Ln} изменение уже не столь значительно. Следует отметить, что семейства характеристик имеют характерные точки L_f^*=1.1, L_f^*=7.3 при которых габаритная мощность дросселя L_f не зависит от соотношения δI_{Ln} и равна мощности индуктора L_n.

Результатом этой работы является определение экстремума габаритных мощностей реактивных элементов контура ДПЧ использующего принцип сложения токов. Зависимость габаритной мощности дросселя L_f при различных δI_{Ln} показывает, что экстремум характеристики $P^*_{\Gamma\_Lf}$ не зависит от изменения δI_{Ln}.

Список литературы

1. Юшков А.В. Оценка энергетических показателей двухчастотных резонансных преобразователей частоты использующих принцип сложения токов // Материалы Международной научно-технической конференции Электромеханические преобразователи энергии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 354–356.
2. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1978. – 392 с.
3. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Ч. 2. – 197 с.

СТРУЙНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ УГЛОВ НА ОСНОВЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Яшков В.А.

Научный руководитель: Порунов А.А., к.т.н., профессор

Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
E-mail: yavitalic@yandex.ru

Для формирования законов управления САУ и СПАУ воздушного судна (ВС) наиболее часто используются гироскопические измерители углов и угловых скоростей, которые позволяют получить только косвенную оценку информативных параметров, входящих в законы управления. Для измерения аэродинамических углов широко применяются флюгерные измерители, измерительный процесс в которых основан на ориентации аэродинамического тела по направлению потока воздуха путем воздействия на него устанавливающего аэродинамического момента, создаваемого воздушным потоком. При этом угол поворота аэродинамического тела преобразуется в пропорциональный электрический сигнал. К характерным особенностям таких измерителей относятся недостаточная чувствительность и большая погрешность измерения в диапазоне малых воздушных скоростей, причем в диапазоне скоростей 30–50 км/ч погрешность достигает 1..3º на установившихся режимах полета и 20..30º в переходных режимах, также происходит «болтанка» приемников на переходных режимах полёта.

Преимущества струйных устройств, такие как низкая стоимость, высокие надежность и ресурс работы, малая масса и габариты, сохранение работоспособности в условиях радиационного излучения приводят к появлению гибридных схем, в которых, наряду со струйными устройствами, используются и другие (гидравлические, электрические, пневматические и др.). Перспективным направлением деятельности является создание измерителей углов атаки и скольжения с расширенными возможностями на основе использования «за-

топленной воздушной струи». В работе рассматривается задача обеспечения необходимых параметров системы на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

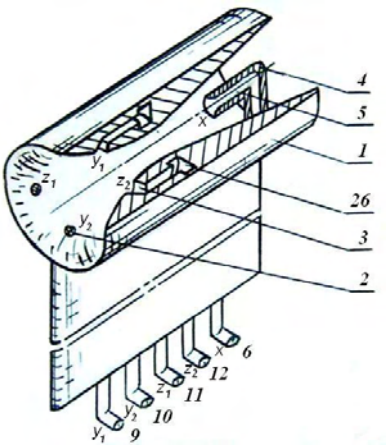


Рис. 1. Аэрометрический преобразователь углов атаки и скольжения: 1 – аэродинамическое тело; 2, 3 – приемные отверстия по углу атаки и скольжения соответственно; 4 – трубка; 5 – приемные отверстия; 6 – выход по скоростному напору; 9, 10, 11, 12 – выходы аэрометрического преобразователя по аэродинамическим углам; 26 – осредняющая кольцевая полость

Рассматриваемое в работе устройство содержит два приемника скоростного напора, входные отверстия которых направлены в плоскости измеряемого угла симметрично в противоположные стороны под углом к оси симметрии, измеритель разности давлений, являющийся чувствительным элементом датчика, при этом датчик снабжен дифференциальным струйным устройством (усилителем), причем управляющие сопла этого усилителя соединены с соответствующими приемниками скоростного напора, выходные его отверстия соединены с измерителем разности давлений, а полость камеры усилителя сообщена с линией статического давления.

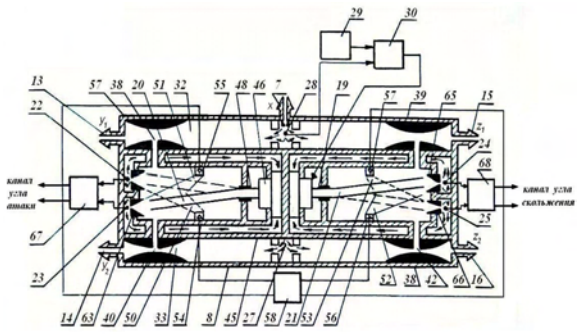


Рис. 2. Функциональная схема датчика аэродинамических углов

Для повышения точности, эксплуатационной надежности и эффективности применения измерителя в пневматическом канале струйного устройства в месте его соединения с приемными отверстиями аэродинамического тела выполнена осредняющая полость, сообщенная с приемным отверстием скоростного напора, расположенным по оси симметрии аэродинамического тела, и установлен струйный инвертор, сообщенный с рабочей камерой и осредняющей полостью.

На рабочую струю через выходные отверстия накладывается силовое воздействие, связанное с передачей на струйный инвертор информативного перепада давления, пропорционального аэродинамическому углу. Таким образом, выделение информативного сигнала происходит путем измерения времени нахождения рабочей струи в крайних положениях (зависящих как от управляющих воздействий, так и от измеряемого аэродинамического угла через информативный перепад давлений на струйном инверторе). Т.е. уменьшение погрешности результата измерения достигается за счет работы анемочувствительных элементов в режиме индикатора, что позволяет уменьшить влияние температурных вариаций параметров рабочей струи (скорости и плотности).

Информативный перепад несколько возрастает за счет введения в пневмоцепь его формирования приемных отверстий полного давления. Экспериментальные исследования показали, что при тех же значениях аэродинамического угла, равного 10º, и скорости полета V до 40 км/ч информативный перепад находится в пределах 25..35 Па (максимальное значение), а затем нарастает до 230 Па при V=162 км/ч (в аналогах 183 Па).

При неустановившемся угловом движении, когда струйный элемент поворачивается вокруг своей оси симметрии, вследствие действия сил инерции, приложенных к рабочей среде в кольцевом канале, увеличивается скорость прохождения сигнала по каналу в одном направлении и уменьшается в противоположном. На этом основана ШИМ сигналов, получаемых на выходе струйного элемента.

Уменьшение мультипликативной составляющей погрешности измерения достигается путем изменения «жесткости» рабочей струи, определяемой скоростью её истечения V_C на срезе сопла микронагнетателя. Следовательно, управляя скоростью V_C, можно осуществить коррекцию «жесткости» рабочей струи, и тем самым обеспечивать постоянство эффекта воздействия информативного перепада давления на рабочую струю при различных скоростях полета. Процесс работы измерителя состоит из двух режимов: режима измерения и режима считывания информации.

При ШИМ выходных сигналов благодаря попеременному переключению потока газов с одного канала на другой, создаются более благоприятные температурные условия работы системы. Системы измерения аэрометрических параметров с модуляцией сигналов разрабатываются на основе принципов, заимствованных у электронных систем передачи информации и имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными (пропорциональными) струйными устройствами. Это – боль-

шее быстродействие и точность, некритичность к потерям в линиях передач, отсутствие дрейфа нуля, лучше отклонение сигнал – помеха, а также возможность применять соединительные линии большой длины. Быстродействие таких систем ограничивается частотными характеристиками струйных элементов и линий передач. Как правило, способ модуляции (гармонический или импульсный) определяется характером сигнала, поступающего со струйного измерительного или приемного устройства, хотя встречаются системы, в которых применяются оба способа модуляции.

Анализ помехозащищенности различных видов модуляции показывают, что наибольшие искажения получаются при амплитудной модуляции, поэтому наиболее предпочтительным применением в системах пневмоники является принципы ШИМ. Для схем с ШИМ точность работы определяется в основном условиями переключения пороговых элементов, а изменение давления не вызывает непосредственной ошибки измерения.

Таким образом, применение измерителя аэродинамических углов позволит уменьшить составляющую результирующей погрешности измерения (аддитивную в 1,5..2 раза, а мультипликативную в 2..4 раза); обеспечить удобство и простоту согласования измерителя с бортовыми средствами вторичной обработки информативных сигналов; повысить эксплуатационную надежность и уменьшить габаритно-массовые (соответственно до 0,1…0,2 дм^3 и 100..200 г) характеристики, а также снизить энергопотребление до уровня 3...5 Вт, а также повысить эффективность применения измерителя. Экономический эффект от внедрения определяется высочайшей помехозащищенностью устройства и отсутствием экранирующих частей конструкции. Методы и подходы, применяемые при решении задачи формирования сигналов управления, являются энергонезависимыми и позволяют использовать их в ракетной технике в условиях космоса и при высоком уровне возмущающих воздействий.

Дальнейшим этапом в разработке миниатюрного устройства струйного измерителя аэродинамических углов на основе ШИМ, является решение задачи структурного и параметрического синтеза блока процессорной обработки струйного измерителя на основе использования тепловых и акустических эффектов.

Список литературы

1. Яшков В.А., Корнилов Л.А., Галяутдинов Б.Н. Принципы и схемы построения струйных измерительных устройств для определения параметров подвижных объектов: сб. трудов XII МНК «Решетневские чтения». – Красноярск: ДВГТУ, 2008. – С. 196–197.
2. Яшков В.А. Эволюция струйных измерителей кинематических параметров подвижных объектов и этапы коммерциализации: сб. трудов ВНТК «Наука. Технологии. Инновации–2009». – Новосибирск: НГТУ, 2009. – С. 38–40.
3. Яшков В.А. Разработка и исследование базовых элементов струйно-конвективной системы измерения параметров движения летательного аппарата: сб. трудов ВНПК «Приоритетные направления современной российской науки глазами молодых ученых». – Рязань: РГУ, 2009. – С. 117–121.

СЕКЦИЯ 3

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЮНЕТА-ВИБРОГАСИТЕЛЯ

Ангаткина О.О.

Научный руководитель: Гаврилин А.Н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ojuna.gr@mail.ru

Совершенствование технологий обработки в машиностроении связано с повышением производительности механической обработки, обеспечением заданной точности и качества обрабатываемых поверхностей.

Одной из важных проблем при этом являются вибрации. Вибрации значительно ускоряют износ деталей машин, снижают допустимые режимы резания, приводят к получению у детали волнистой и дробленой поверхности, снижению точности обработки. Поэтому исследования в области гашения вибраций являются столь значимыми. Механическим колебаниям и вибрациям посвящено большое количество книг и публикаций.

Вибрации в системе станок-инструмент-деталь часто возникают из-за динамических нагрузок от работающего рядом оборудования, дисбаланса быстровращающихся частей станка или обрабатываемой детали, различных дефектов передач станка, переменного сечения среза или прерывистого характера резания, характерного для большинства процессов резания. К таким процессам относятся фрезерование, протягивание, точение и т. д. Все эти вибрации носят название вынужденных. Методами борьбы с ними является устранение источника колебаний, т. е. применение виброгасящих прокладок, балансировка элементов станка и т. д. [1]. В станках также можно встретить релаксационные колебания, возникающие в приводах подач станка.

Но самыми распространенными и наиболее значимыми при работе на металлорежущих станках, являются автоколебания. Внешняя сторона такого явления состоит в том, что при обработке вполне уравновешенной детали на исправном станке могут иметь место сильные вибрации. Они возникают сразу после начала резания и пропадают при его прекращении.

Начало автоколебаний может быть «жестким», когда колебания начинаются сразу в полную силу или «мягким», когда автоколебания возрастают от нуля постепенно, причем причиной является поведение металла впереди лезвия в момент среза.

Основным условием постоянства автоколебаний является неравенство величины усилия резания при врезании лезвия в металл и при его отходе (рис. 1, а), т. е. $P_y^{отхода} > P_y^{врезания}$.

Экспериментально это подтверждается совместными осциллограммами перемещений резца при свободном точении стальных дисков широкими резцами с поперечной подачей и изменений усилия P_y во времени (рис. 1,б). После перенесения этих значений в координатную систему $P_y - y$ получается замкнутая кривая зависимости $P=f(y)$ представленная на рис. 1.

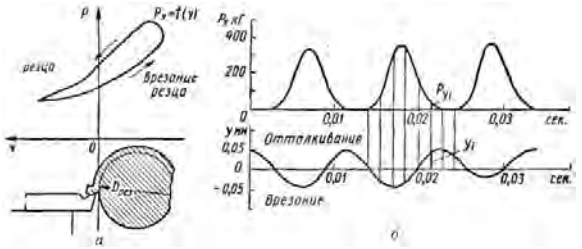


Рис. 1. Зависимость между величиной перемещения резца y и P_y (а); осциллограммы для усиления P_y и перемещения резца y, полученные одновременно (б)

Разность усилия резания при врезании и отходе объясняется тем, что резец при колебании в моменты углубления встречает свежие недеформированные слои металла, а в моменты отхода (отталкивания) перед его передней гранью оказываются более твердые слои только что наклепанного металла, поэтому усилие резания резко возрастает. Между передней гранью резца и стружкой, а также между задней гранью и обрабатываемой деталью имеет место переменность сил трения, что также влияет на переменность силы P_y. Это объясняет возникновение радиальных автоколебаний.

В действительности интенсивные автоколебания инструмента протекают главным образом в направлении тангенциальной составляющей силы резания, где жесткость системы резец – суппорт наименьшая. Они возникают под воздействием сил трения на задних гранях инструмента.

Все мероприятия по борьбе с вибрациями типа автоколебаний делятся на технологические (изменение режимов резания и геометрии инструмента) и конструктивные. Первая группа мероприятий проще в осуществлении, но связана со снижением производительности, ухудшением качества поверхности или оказывается недостаточно эффективной. Вторые мероприятия более трудоемки, но дают более устойчивые результаты.

К конструктивным мероприятиям относятся:

1. Повышение жесткости всех элементов системы станок-инструмент-деталь.

2. Рассеивание энергии колебаний системы (демпфирование). Вибрации уменьшатся или прекратятся, если при устойчивой амплитуде незатухающих колебаний общая энергия затухания за

счет присоединения демпферов окажется больше энергии возбуждения. Практически это достигается применением различной конструкции виброгасителей сухого или вязкого трения, ударного действия или динамических.

Виброгаситель или демпфер – это устройство, включение которого в колебательную систему резко увеличивает ее затухание.

Рассмотрим более подробно виброгасители трения, предназначенные для гашения низкочастотных вибраций деталей при точении. Наиболее универсальным является люнет-виброгаситель конструкции В.Г. Подпоркина (рис. 2). Прибор предназначен для использования при точении деталей типа валов.

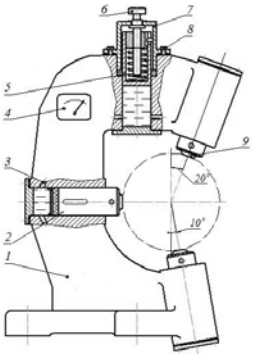


Рис. 2. Люнет-виброгаситель конструкции В.Г. Подпоркина

Виброгаситель имеет чугунный корпус *1* с тремя цилиндрами, расположенными таким образом, что позволяет гасить вибрации любых направлений, перпендикулярных оси детали. Четвертый цилиндр является загрузочным.

Вращение рукоятки *6* через пружину *5* перемещает загрузочный поршень *4*, который по трубам *3* подает масло во все три рабочих цилиндра и перемещает рабочие поршни *2*. Наружные торцы поршней упираются в деталь роликами *9*.

При работе люнет-виброгаситель устанавливается на суппорте на расстоянии 40–60 мм позади резца. После подвода поршней к детали в гидросистеме прибора создается давление в 1,5–2 атм., контролируемое по манометру *5*. При этом энергия колебаний детали рассеивается на преодоление трения поршней о цилиндры, сопротивление истечению масла через малые отверстия при быстрых перемещениях поршней и на сопротивление пружины загрузочного цилиндра.

Механизм гашения автоколебаний люнета-виброгасителя аналогичен действию гасителя колебаний с вязким трением.

Для уменьшения вибраций к демпфируемому объекту, совершающему колебания с амплитудой

$$a = G_0 / c\left[1 - (\omega/\omega_0)^2\right],$$

где $\omega_0 = \sqrt{c/m}$ – собственная частота объекта, присоединяется гаситель с вязким трением *2*, имеющий сосредоточенную массу $m_г$ и вязкий демпфер с коэффициентом трения $b_г$.

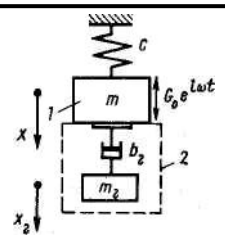


Рис. 3. Гашение колебаний гасителем с вязким трением

При этом амплитуда колебаний объекта

$$\frac{|a|}{\delta} = \left\{ \frac{\xi^2 + 4\beta_0^2}{\xi^2\left(1-\xi^2\right)^2 + 4\beta_0^2\left[1-\xi^2(1+\mu)\right]^2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где $\delta = G_0/c; \xi = \omega/\omega_0; \mu = m_г/m;\ \beta_0 = b_г/2m_г\omega_0$ - коэффициент вязкого трения.

На рис. 4 приведены амплитудно-частотные характеристики объекта при $\beta_0 = 0$ и $\beta_0 = \infty$. Характерной особенностью является то, что кривые обязательно проходят через точки А и В.

Уравнение абсцисс этих точек

$$\xi^4 - 2\xi^2/2 + \mu = 0. \quad (2)$$

Наилучшая настройка гасителя с вязким трением дает максимум амплитуды в точке *B*. Амплитуда и величина коэффициента вязкого трения β_0, обеспечивающая экстремум в точке *B* (сплошная линия) из (1) и (2)

$$|a|/\delta = 1 + 2/\mu,$$

$$\beta_0 = \sqrt{1/2(2+\mu)\cdot(1+\mu)}.$$

На рис. 4 приведена амплитудно-частотная характеристика гасителя с вязким трением, соответствующая оптимальной настройке люнета-виброгасителя трения. Из рисунка видно, что применение виброгасителя трения уменьшает амплитуду колебаний в четыре раза, что существенно повышает точность обработки.

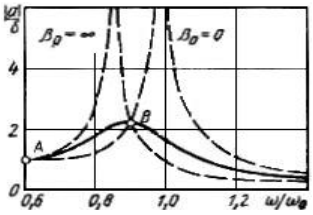


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика системы с одной степенью свободы, снабженной оптимально настроенным гасителем с вязким трением

Следует еще раз подчеркнуть, что вибрации оказывают прямое влияние на производительность станка. Наиболее значимыми из них являются автоколебания. Одним из наиболее эффективных способов гашения автоколебаний при токарной обработке является применение люнета-виброгасителя.

Список литературы

1. В.А. Ивович, В.Я Онищенко. Защита от вибраций в машиностроении. – М: Машиностроение, 1990.
2. Вибрация в технике: справочник: в 6 т. / под ред. В.Н. Чаломея. – М: Машиностроение, 1978. – Т. 6. – 456 с.
3. Болдин Н.Н., Металлорежущие станки. – М: Машиностроение, 1956.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ПЕРЕДАЧАХ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕЛ

Беляев Д.В.

Научный руководитель: Ан И-Кан, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dvb@tpu.ru

В последние годы все большую известность и применение в машиностроении находят волновые передачи зацепления промежуточных тел (ВПТ). Введение их в конструкцию благодаря большому диапазону передаточных отношений, конструктивной гибкости и многопарности зацепления позволяет создавать механизмы со специфическими свойствами. Некоторые предприятия выпускают приводы различного назначения на базе ВПТ, однако недостаточная изученность создает препятствия к производству и более широкому распространению. Восполняя этот пробел, предлагается одна из методик расчета усилий, действующих в каждом узле ВПТ, состоящем из промежуточного тела – кулачка – сепаратора и зуба центрального колеса.

Решение подобной проблемы, для передач другого вида, связанной с раскрытием статической неопределимости было предложено проф. Н.В.Кудрявцевым в работе [1].

Для иллюстрации этой методики, в качестве примера можно взять один из вариантов ВПТ, который представлен на рис. 1. Конструкция состоит из центрального колеса 1, промежуточного тела 2 и сепаратора 3; выполненного заодно целое с выходным валом и кулачка 4, неразрывно связанного с валом входным.

При сообщении движения кулачку 4, промежуточные тела 2, например ролики, перекатываясь по профилям зубьев неподвижного центрального колеса 1, передают движение сепаратору 3, связанному с выходным валом.

Если проанализировать работу этой передачи, то теоретически, работают только те промежуточные тела, которые в результате поворота кулачка отдаляются от центра вращения передачи. Таким образом, работает примерно половина всех промежуточных тел. В дальнейшем будем рассматривать только узлы, которые находятся в работе.

Приложим к ведущему валу крутящий момент, зафиксировав центральное колесо и сепаратор. От приложенного момента кулачок повернется на какой-то угол, и промежуточное тело окажется зажатым между сопрягаемыми деталями. Рассмотрим картину сил, действующих на промежуточное тело. Для этого выделим на сечении А-А (рис. 1) выносной элемент Б (рис. 2). Со стороны центрального колеса на промежуточное тело действует сила *F*, сепаратора *N* и кулачка *P*. Зная форму впадины центрального колеса, можем на каждом участке этой кривой найти радиус кривизны и положение его центра.

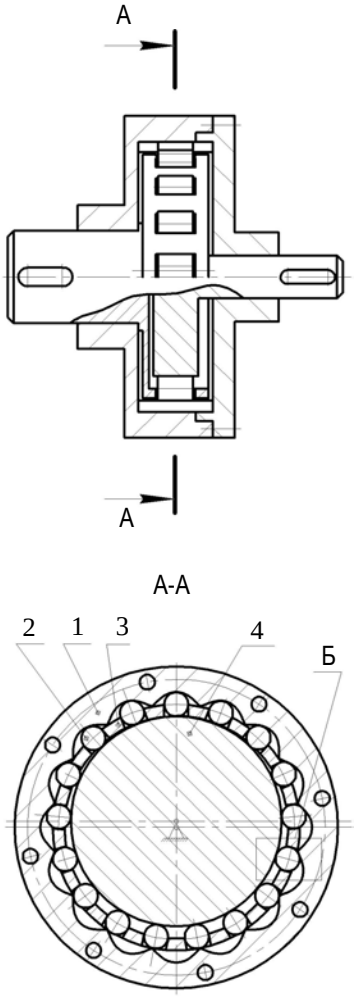


Рис. 1. Волновая передача с промежуточными телами

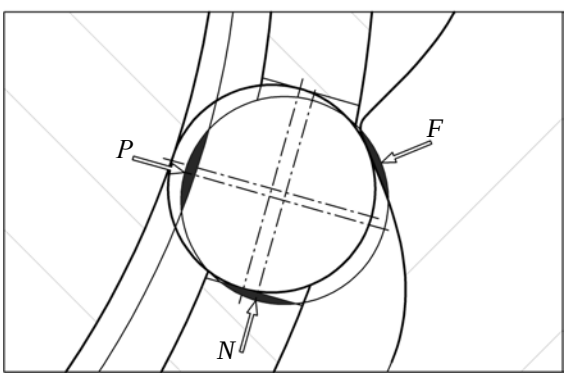


Рис. 2. Выносной элемент Б

Таким образом, определим линию действия силы *F*. Допустим, известна численная величина силы *F*, тогда через геометрию передачи можем найти величины остальных сил *N* и *P*.

Имеется три схемы касания контактирующих поверхностей (рис. 3,4,5):

Цилиндр и плоскость (промежуточное тело – сепаратор) рис. 3.

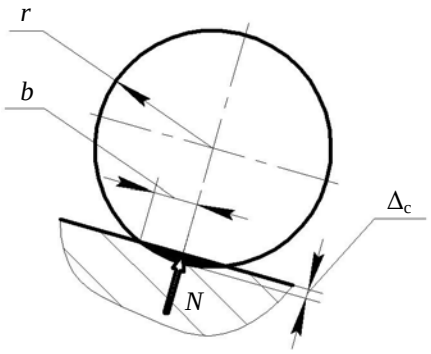


Рис. 3. Схема касания промежуточного тела с сепаратором

Полуширина полоски контакта

$$b = 1,526\sqrt{\frac{rN}{lE}}$$

где l – длина ролика, r – радиус промежуточного тела, E – модуль упругости (пусть модули упругости материала промежуточного тела и контактирующих деталей равны).

Уменьшение размера диаметра промежуточного тела

$$\Delta_c = 1,159\frac{N}{lE}\left(0,41+\ln\frac{4r}{b}\right).$$

Цилиндр и цилиндрическая впадина с параллельными осями, хотя и форма впадины центрального колеса выполнена в виде циклоиды, в качестве допущения и в силу малости деформаций, считаем, что радиус кривизны заменяемой нами циклоиды равен радиусу цилиндра в месте контакта (промежуточное тело – центральное колесо) рис. 4.

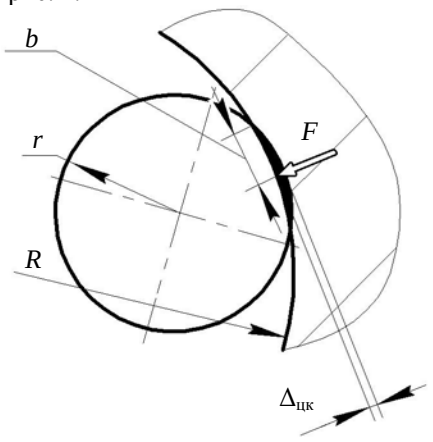


Рис. 4. Схема касания промежуточного тела с центральным колесом

Полуширина полоски контакта

$$b = 1,3976 n_b \sqrt[3]{\frac{F}{E\sum k}}$$

где: n_b – коэффициент, принимается согласно [табл. 52, 2]; $\sum k$ – сумма главных кривизн поверхностей соприкасающихся тел в месте первоначального контакта.

Сближение соприкасающихся тел

$$\Delta_{цк} = 0,9767 n_\Delta \sqrt[3]{\frac{F^2}{E^2}\sum k}$$

где n_Δ – коэффициент, принимается согласно [табл. 52, 2].

Цилиндры с параллельными осями (промежуточное тело – кулачок) рис. 5.

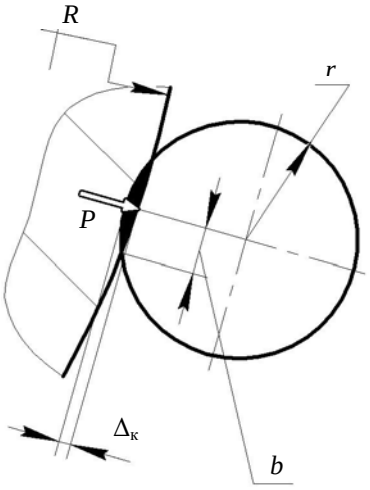


Рис. 5 Схема касания промежуточного тела с кулачком

Полуширина полоски контакта

$$b = 1,522\sqrt{\frac{P}{lE}\frac{Rr}{R+r}}$$

Сближение соприкасающихся тел

$$\Delta_к = 0,5796\frac{P}{lE}\left(\ln\frac{4Rr}{b^2}+0,814\right)$$

Приведенные выше зависимости для случая, когда коэффициенты Пуассона всех материалов контактирующих деталей равны между собой и равны 0,3.

Основываясь на приведенных выше зависимостях можно определить прошедшие деформации, а поскольку все узлы кинематически связаны между собой, решив обратную задачу можно определить все силы.

Список литературы

1. Планетарные передачи / В.Н. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1975. – 704 с.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНО – СТРУКТУРНОГО И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Бочектуева Е.Б.

Научный руководитель: Покровский А.М., д.т.н., профессор

Восточно-Сибирский государственный технологический университет,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40 «в»
E-mail; elenboch@mail.ru

В условиях рыночных отношений насущной проблемой является бесперебойный выпуск требуемого объема листового проката, а он возможен только при наличии мощных прокатных станов, отвечающих последнему слову техники. Одной из проблем при создании таких станов является изготовление крупных опорных и рабочих прокатных валков с диаметром более двух и длиной до пяти метров. Процесс изготовления прокатных валков связан с формированием остаточных напряжений, которые могут достигать предела текучести и прочности материала, что приводит к разрушению валков при хранении или в первые часы эксплуатации. Источниками остаточных термонапряжений являются деформации, связанные с неравномерностью температурного поля и со структурными превращениями. Для определения указанных термических напряжений необходимо решить связанную задачу термоупруговязкопластичности для материала с нестабильной структурой. Нестабильность структуры обусловлена с тем, что при термической обработки стали в ней протекают структурные превращения. В процессе этих превращений выделяется скрытая теплота структурных переходов, происходит изменение объема, связанное с формированием другой кристаллической решетки, а также проявляется эффект сверхпластичности. Кроме этого, структурные превращения оказывают существенное влияние на механические свойства стали. В основу решения физически нелинейной задачи термоупруговязкопластичности с учетом нестабильности структуры положен метод конечных элементов (МКЭ). Применен шаговый метод расчета, при котором на каждом шаге по времени последовательно решается три задачи. Сначала – задача теплопроводности и определяется температурное поле по сечению валка. Затем по температурным значениям рассчитывается структурный состав и коэффициент линейного расширения в каждом конечном элементе. И, наконец, производится собственно расчет напряженного состояния. Решение задачи нелинейной нестационарной теплопроводности проведено в двумерной осесимметричной постановке. Для изотропного тела в случае переменных теплофизических коэффициентов эта задача описывается следующим дифференциальным уравнением [1]

$$c\rho\frac{\partial t}{\partial \tau}=\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda\, r\,\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\,\frac{\partial t}{\partial z}\right)+q_V, \quad (1)$$

где $t(r,z,\tau)$ – температура; r, z – координаты, направленные по радиусу и оси соответственно; τ – время; λ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность; q_V – мощность удельных источников энерговыделения.

Для наиболее адекватного описания условий теплообмена при термической обработке прокатных валков использованы граничные условия третьего рода

$$\lambda\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{П}=h\,(t_C(\tau)-t_П(\tau)) \quad (2)$$

где h – суммарный коэффициент теплоотдачи, учитывающий теплообмен конвекцией и излучением; t_c – температура окружающей среды; n – нормаль к поверхности; п – индекс относящийся к значениям на поверхности.

Интегрирование уравнения (1) проведено при начальном условии

$$t(r,z,0)=t_0(r,z), \quad (3)$$

В случае использования МКЭ решение осесимметричной задачи нестационарной теплопроводности для изотропного тела в случае переменных теплофизических коэффициентов сводится к минимизации функционала, описывающего краевую задачу (1)–(3), что для ансамбля конечных элементов приводит к следующему матричному уравнению [2]

$$[C]\frac{\partial\{t\}}{\partial\tau}+[K]\cdot\{t\}=\{F\}, \quad (4)$$

где $[C]$, $[K]$ – глобальные матрицы теплоемкости и теплопроводности соответственно; $\{t\}$ – вектор-столбец температур в узлах конечно-элементной сетки; $\{F\}$ – вектор-столбец тепловой нагрузки в узлах.

Как правило, рабочие и опорные валки станов кварто холодной прокатки, выполненные из традиционных валковых сталей, подвергаются спрейерной закалке при нагреве токами промышленной частоты (ТПЧ). В связи с этим рассмотрим методы моделирования температурного поля в валках при таком виде закалки.

Ширина индуктора составляла 200 мм. Расстояние между индуктором и спрейером – 100 мм. На рис. 1 представлено распределение температур в продольном сечении валка на третьем проходе.

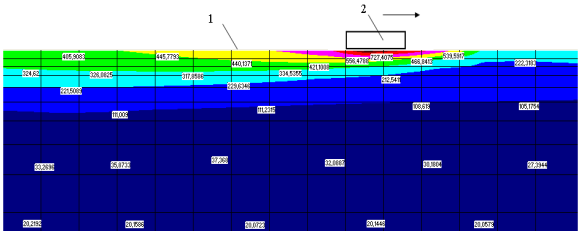


Рис. 1. Распределение температур в продольном сечении рабочего валка (значения указаны в оС): 1 – валок; 2 – индуктор

При термической обработке различные точки прокатного валка нагреваются и остывают поразному, и поэтому валок имеет неоднородную структуру. Это связано с тем, что в процессе термической обработки аустенит, возникающий при нагреве валковой стали выше температуры аустенизации (730–750 оС), может превращаться в зависимости от скорости охлаждения в общем случае в перлит, бейнит или мартенсит. Для описания изотермического распада аустенита в перлит использовано уравнение Авраами [3], а для бейнитного превращения более сложное уравнение, учитывающее ускорение хода превращения под нагрузкой и снижение предельной степени распада

$$V_Б(\tau)=\{\,1-\exp[-K_Б(t)\cdot(\,\Omega(\sigma_i)\cdot\tau)^{n_Б(t)}]\,\}\cdot A(t)\cdot B(\sigma_i)\cdot V_A^Б \quad (5)$$

где $V_{Б}$, $V_{A}^{Б}$ – удельные доли бейнита и аустенита, сохранившегося к началу бейнитного превращения соответственно; А– предельная степень превращения аустенита в бейнит при данной температуре. свободная деформация гетерогенной структуры ε_T может быть определена по свободным деформациям составляющих структур пропорционально их удельным долям

$$\varepsilon_T = \varepsilon_T^A V_A + \varepsilon_T^П V_П + \varepsilon_T^A V_Б + \varepsilon_T^M V_M, \quad (6)$$

где ε_T^A, $\varepsilon_T^П$, $\varepsilon_T^Б$, ε_T^M – свободные деформации аустенита, перлита, бейнита и мартенсита соответственно, которые можно определить по дилатограммам этих структур.

При термической обработке прокатных валков в них возникают пластические деформации и поэтому математическая модель процесса формирования остаточных напряжений должна базироваться на упругопластическом расчете.

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^c + \delta_{ij}\cdot\varepsilon_T, \quad (7)$$

где ε_{ij}^e, ε_{ij}^p, ε_{ij}^c – компоненты упругой и пластической деформации соответственно; ε_T – свободная деформация, учитывающая температурные и структурные изменения объема; δ_{ij} – символ Кронекера.

Для решения физически нелинейной задачи термоупруговязкопластичности для материала с нестабильной структурой применялся шаговый метод дополнительных (начальных) деформаций, изложенный в работе И.А. Биргера и Б.Ф. Шорра. В основу расчета были положены неизотермическая теория пластического течения и неизотермическая теория ползучести с изотропным упрочнением распространенные на случай материала с нестабильной структурой.

Согласно методу дополнительных деформаций уравнение (6) представляется в дифференциальной форме. При численной реализации дифференциальная форма уравнений заменяется конечно-разностной

$$\Delta\varepsilon_{ij} = \Delta\varepsilon_{ij}^e + \Delta\varepsilon_{ij}^p + \Delta\varepsilon_{ij}^c + \delta_{ij}\cdot\Delta\varepsilon_T, \quad (8)$$

где $\Delta\varepsilon_T = \alpha\cdot\Delta t$; α – суммарный коэффициент линейного расширения.

Численное моделирование показало, что максимальные временные растягивающие осевые напряжения возникают в валке когда индуктор почти дошел до верхнего торца рабочей части валка. На рис. 2 представлено распределение временных осевых напряжений в продольном сечении опорного валка для этого момента времени. Из рисунка видно, что максимальные напряжения равные 608 МПа возникают в приповерхностных слоях бочки, лежащих за индуктором. Расчет показывает, что температура в этой области около 340 °С.

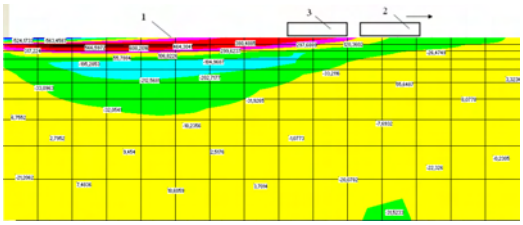


Рис. 2. Распределение временных осевых напряжений в продольном сечении опорного валка (значения указаны в МПа)

Список литературы

1. Гуляев А.П. Металловедение. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 542 с.
2. Покровский А.М. Расчет термонапряжений при электронормализации композитных прокатных валков // Производство проката. – 2007. – № 9. – С. 39–45.
3. Покровский А.М. Алгоритм решения задач термо-упруго-вязкопластичности на основе МКЭ с учетом структурных превращений // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – № 5. – С. 12-16

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕРВОЗОЛОТНИКА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ И ПРИВОДОМ

Володкина Е.А., Семенова Я.В.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: volodkinalena@mail.ru

В различном гидрофицированном оборудовании широко применяются электрогидравлические сервозолотники и золотники с пропорциональным управлением [1, 2]. Конструктивная схема сервозолотника включает: электромеханический преобразователь электрического аналогового сигнала в перемещение заслонки; механогидравлический преобразователь, преобразующий сформированное механическое перемещение заслонки в определенный перепад давления, подводимый к торцам золотника; и упруго-кинематическую отрицательную обратную связь золотника с заслонкой (рис. 1).

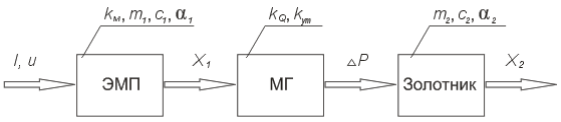


Рис. 1. Конструктивная схема сервозолотника

На рис. 2 приведена типовая блок-схема сервозолотника со схематичным изображением конструктивных элементов, участвующих в формировании динамических свойств устройства в целом.

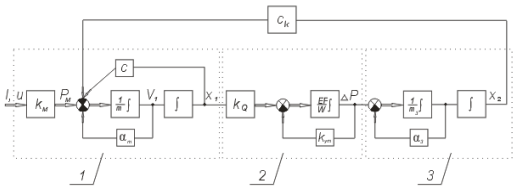


Рис. 2. Блок-схема сервозолотника

Маломощный электромеханический преобразователь сервозолотника включает якорь на упругом подвесе, помещенный в управляемое входным сигналом магнитное поле. Изменение положения якоря в магнитном поле приводит к изменению положения заслонки, жестко связанной с якорем с одной стороны и, одновременно, через упруго-кинематическую связь якоря с золотником. Таким образом, золотник примет новое установившееся положение только тогда, когда информация о заданном положении якоря изменит во втором каскаде перепад давления на торцах золотника, он переместится и посредством упруго-кинематической связи вернет якорь в исходное положение, при неизменном электрическом входном сигнале. На блок-схеме для каждого из каскадов сервозолотника обозначены основные параметры, учитываемые в математической модели.

Проведем краткий анализ структурной схемы сервозолотника (рис. 3). Первый каскад (А) включает четыре обобщенных параметра: приведенный параметр электромагнитной системы k_m, приведенную массу якоря m_1, приведенное вязкое сопротивление перемещения сопла α_1 и приведенную жесткость подвески якоря c_1. Как видно из структурной схемы, в случае постоянства параметров этого контура, он представляется звеном второго порядка.

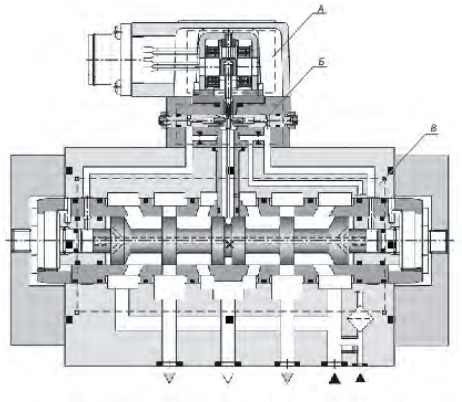


Рис. 3. Структурная схема сервозолотника

Второй каскад (Б) сервозолотника включает две гидравлические полости, соединяющие соответственно торцы золотника с неуправляемыми дросселями и с управляемыми соплами. Математическая модель из-за большой величины модуля упругости жидкости и малого объема гидравлических полостей, может быть учтена некоторым коэффициентом передачи. В этом случае, положение заслонки однозначно определяет перепад давления на торцах золотника в рабочем диапазоне частот. Однако в реальных рабочих жидкостях всегда присутствуют пузырьки нерастворенного воздуха, что существенно уменьшает модуль упругости жидкости и частота среза второго каскада лежит в диапазоне рабочих частот, что приводит к запаздыванию и искажению перепада давления на золотнике относительно заданного входного сигнала.

Третий каскад (В) управляемого сервозолотника учтен массой золотника, коэффициентом вязкого сопротивления, и коэффициентом гидродинамических сил. В силу малости жесткости упругого стержня обратной связью между якорем и золотником можно не учитывать по сравнению с гидродинамическими силами.

Таким образом, из проведенного анализа работы сервозолотника и его математической модели, видно, что передаточная функция между электрическим маломощным входным сигналом и положением золотника имеет пятый порядок.

В данной работе рассматривается принципиально другой подход к управлению сервозолотника. Он заключается в том, чтобы исключить два маломощных каскада, формирующих перепад давления на торцах золотника, под действием которого в конечном итоге формируется его новое положение. Такой контур управления включает: маломощный быстроходный без инерционный электродвигатель с жесткой обратной связью по углу поворота вала, и точный малогабаритный редуктор – преобразователь движения, с большим передаточным отношением и высокой точностью [3, 4]. Выходное звено редуктора – преобразователя перемещает золотник в требуемое положение, заданное текущим углом поворота вала электродвигателя. Для обеспечения надежного контакта выходного звена редуктора с золотником он прижат к выходному звену при помощи маложесткой пружины со значительным предварительным поджатием. Это обеспечивает неизменность нагрузки на приводной двигатель вне зависимости от того, имеется ли вязкое сопротивление при движении золотника с некоторой максимальной скоростью или возникают силы инерции при резком ускорении золотника.

В качестве редуктора-преобразователя, в данной работе применен и теоретически исследован на виртуальной модели малогабаритный, кинематический, торцовый волновой редуктор с передаточным отношением i = 50. Приведенный момент инерции масс составил по величине 30% от момента инерции ротора двигателя. Исследования плавности работы редуктора приведены на рис. 4.

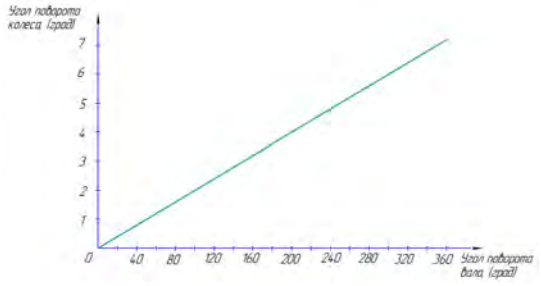


Рис. 4. Плавность работы редуктора

В процессе исследования кинематики движения выходного вала в зависимости от поворота входного вала установлено, что передаточное отношение не зависит от угла поворота входного вала, что исключает каких- либо погрешностей.

На рис. 5 приведена частотная характеристика двигателя. Как видно из графика, полоса пропускания, при которой не происходит значительных амплитудных и фазовых искажений составляет 12…14 Гц, что близко к полосе пропускания сервозолотника по модулю, однако на этих частотах фазовые искажения могут превышать у сервозолотника 90^0 и более градусов, поэтому фактическая полоса рабочих частот у сервозолотника существенно ниже.

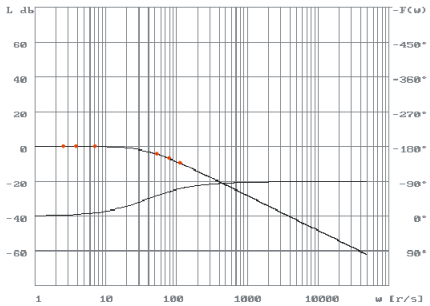


Рис. 5. Частотная характеристика двигателя

Проведенное предварительное исследование показывает, что сервозолотник с предлагаемой новой конструктивной схемой управления, включающей управляемый двигатель (шаговый) и кинематический волновой редуктор – преобразователь движения, выходное звено которого непосредственно перемещает золотник, по своим динамическим показателям близок к серийно выпускаемым сервозолотникам. Конструкция такой системы управления золотником существенно проще, не требует сложной аппаратуры и стендов настройки и регулировки, и является, на наш взгляд, перспективной заменой существующей конструктивной схеме управления.

Список литературы

1. Иринг Ю. Проектирование гидравлических и пневматических систем. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 363 с., ил.
2. В.К. Свешников, А.А. Усов Станочные гидроприводы. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 512 с., ил.
3. Патент на изобретение RU № 76093 Самотормозящий волновой редуктор (Саунг-Су-Йесом, Крауиньш П.Я., Крауиньш Д.П., Иоппа А.В.) опуб. 10.09.08 бюл. №25, копия патента на изобретение №76093
4. www.boschrexroth.com

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТА В ЗАЦЕПЛЕНИИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МАСЕЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА

Галаюда И.В.

Научный руководитель: Анферов В.Н., д.т.н., профессор

Сибирский государственный университет путей сообщения, 63049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191
E-mail: ponka.dzu@mail.ru

Среди разнообразных машин технологического назначения значительное место занимают те, которые предназначены для подъема и перемещения грузов и которые называются подъемно-транспортными машинами. Наибольшее применение в подъемно-транспортных машинах из передач червячного типа находят червячные цилиндрические, глобоидные и спироидные передачи.

Такие достоинства передач как возможность получения передаточного числа в диапазоне 8-80 и более, плавность и бесшумность работы, высокая кинематическая точность, возможность самоторможения при небольших углах подъема винтовой линии червяка способствуют их применению, как при модернизации техники, так и при создании новых машин. Передачи червячного типа имеют принципиальное отличие в сравнении зубчатыми передачами, оси валов которых параллельны, либо пересекаются.

Червячные передачи применяются в тех случаях, когда оси ведущего и ведомого колес перекрещиваются (обычно под прямым углом), и могут рассматриваться как разновидность винтовой передачи с тем отличием от последней, что число зубьев (заходов) на ведущем звене – червяке мало, а начальный контакт между зубьями происходит не по точкам, а по контактным линиям. Последнее достигается тем, что зубья на червячном колесе нарезаются по методу обкатки (огибания) червячной фрезой, копирующей червяк передачи. Это обстоятельство делает возможным применение червяков с витками разных профилей [1].

В любой точке линии контакта витков червяка и зубьев колеса червячной передачи имеет место относительное скольжение, а линии контакта в ряде случаев расположены под малым углом к вектору скорости скольжения. Это обстоятельство отрицательно влияет на образование слоя смазки в контакте.

Следует отметить также, что с уменьшением скорости скольжения резко возрастает коэффициент трения, что указывает на наличие граничного трения (микронеровности не разделены слоем смазки) [1].

Передачи червячного типа характеризуются значительными скоростями скольжения в контактной зоне. Поэтому для обеспечения гарантированного ресурса чрезвычайно важно обоснованно выбрать смазочный материал.

Из теории смазки известно, что наиболее благоприятным условием для образования жидкостного трения является перпендикулярное направление скорости скольжения к линии контакта (γ= 90°). В этом случае смазка затягивается в контакт. Между трущимися поверхностями образуется непрерывный масляный слой; граничное трение металлов заменяется жидкостным. При направлении скорости скольжения вдоль линии контакта (γ = 0) масляный слой в контактной зоне образоваться не может; здесь будет полусухое и граничное трение. Чем меньше угол γ, тем меньше возможность образования жидкостного трения.

Последовательное расположение контактных линий (*1, 2, 3, ...)* в процессе зацепления червячной пары показано на рис. 1.

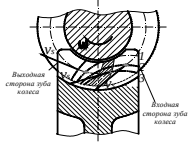


Рис. 1 Последовательное расположение контактных линий в процессе зацепления

Направление скорости скольжения в средней заштрихованной зоне почти совпадает с направлением контактных линий, где условия смазки затруднены. По этой причине при больших нагрузках в этой зоне начинается заедание, которое в дальнейшем распространяется на всю рабочую поверхность зуба.

Из рис. 1 также видно, что со стороны входа червяка в зацепление контактные линии расположены менее благоприятно, чем со стороны выхода.

В глобоидной и спироидной передачах линии контакта расположены более благоприятно с точки зрения образования масляного клина между контактирующими поверхностями звеньев передач (рис. 2).

У глобоидных передач витки червяка образуются на глобоиде. У этих передач повышенная нагрузочная способность (в 1,5–2 раза по сравнению с обычными червячными передачами).

Повышение нагрузочной способности этих передач объясняется одновременным зацеплением большого числа зубьев и благоприятным расположением линий контакта.

В зацеплении линии контакта располагаются почти перпендикулярно к направлению скоростей скольжения (рис. 2в), что способствует образованию непрерывной масляной пленки на трущихся

поверхностях. Это приводит к устранению заедания и позволяет значительно повысить величину контактных напряжений. Недостатком глобоидной передачи является сложность технологического изготовления звеньев пары.

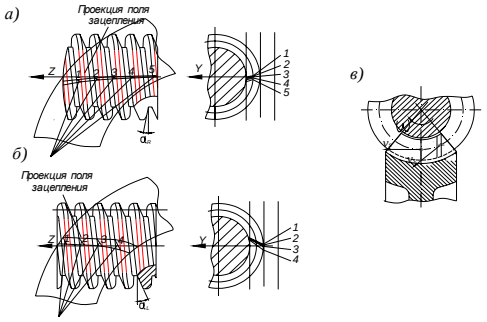


Рис. 2. Расположение контактных линий в спироидной и глобоидной передачах: а и б) спироидной для правой и левой сторон витков червяка, в) для глобоидной

В зацеплении линии контакта располагаются почти перпендикулярно к направлению скоростей скольжения (рис. 2в), что способствует образованию непрерывной масляной пленки на трущихся поверхностях. Это приводит к устранению заедания и позволяет значительно повысить величину контактных напряжений. Недостатком глобоидной передачи является сложность технологического изготовления звеньев пары.

Смазочные материалы должны иметь хорошую смазывающую способность, не застывать при низких температурах. В смазочном материале не должно быть воды и механических примесей. Физические и химические свойства смазочных материалов должны быть стабильными при работе и длительном хранении.

Для обеспечения перечисленных выше функций, а также общих требований к смазочным материалам масла должны обладать определенным уровнем эксплуатационных свойств. Прежде всего, это трибологические (противоизносные, противозадирные и др.), антикоррозионные, защитные, антиокислительные и моющие свойства. Важными характеристиками являются также теплопроводность масла, его температура вспышки (возгорание) и застывания, вспениваемость и ряд других, зависящих от функционального назначения масла [2].

При выборе смазочных масел также необходимо иметь в виду следующие преимущества и недостатки.

Преимущества смазочных масел: низкий коэффициент внутреннего трения, высокая стабильность и чистота, хорошая работоспособностью при высоких скоростях и температурах, способность отводить образующееся в результате трения тепло, возможность применения фильтров и сбора отработавшего масла с целью его регенерации, простота замены. Недостатки масел – пожароопасность, повышенный расход из-за утечек, необходимость в применении сложных уплотнений и частых доливок [3].

В связи с этим следует отметить, что с появлением новых машин и механизмов с возросшими мощностями, высокими удельными нагрузками и скоростями все чаще начинают предъявляться жесткие требования к выбору смазочных масел, имеющих наиболее совершенные свойства.

Как было сказано выше, для обеспечения работоспособности зубчатых передач выбор смазочного масла имеет решающее значение, особенно для пространственных передач. Благодаря особенностям контакта в спироидном зацеплении, спироидное колесо может быть изготовлено не только из бронзы, но и из стали. В первом случае при выборе масел можно ориентироваться на рекомендации по использованию смазочных материалов для червячных цилиндрических и глобоидных передач, во втором – для гипоидных и конических передач с круговым зубом [4].

В случае недостаточности смазки резко возрастают потери в зацеплении, возможно даже повреждение зубьев. Для уменьшения потерь на трение необходимо исключить непосредственный контакт зубьев и витков, т. е. необходимо создать масляный клин, способный выдержать давление между червяком и колесом.

Масла должны, прежде всего, обладать достаточным уровнем противоизносных и противозадирных свойств, иметь высокий индекс вязкости и необходимую вязкость при рабочей температуре масла (для обеспечения жидкостного режима смазки), достаточно низкую температуру застывания, не оказывать коррозионного воздействия на детали узла трения, иметь хорошие защитные свойства и высокую термоокислительную стабильность.

Особенности контакта в зацеплении передач червячного типа позволили сформулировать основные требования при выборе смазочных масел:

- целесообразно применять трансмиссионные масла четвертой и пятой группы эксплуатации, вязкость которых наибольшая;
- использовать трансмиссионные масла с пологой вязкостно-температурной кривой, характеризующей изменение вязкости в рабочем диапазоне температур;
- предпочтительно использовать сорта трансмиссионных масел, содержащих антифрикционные, противоизносные и противозадирные присадки.

Список литературы

1. Часовников Л.Д Передачи зацеплением. Изд. 2-е переработанное и дополненное. – М.: Машиностроение, 1969. – 468 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М., 2002. – 458с.
3. Розенберг Ю.А., Виноградова А.В. Смазка механизмов машин. Выбор и применение масел. – М., 1960. – 311 с.
4. Анферов В.Н., Гольдфарб В.И. Расчетно-эксперементальная оцека ресурса по износу спироидных передач / Передачи и трансмиссии, №2. – 2002. – С. 44-53.

ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА БАЗЕ АОМЗ

Горст М.В.

Научный руководитель: Горст Ю. В., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета,
655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail khti@khakassia.ru

Метод групповой обработки как основа построения технологических процессов – важнейшее звено в общей цепи подготовки машиностроительного производства: конструирование – технология – организация и экономика [1]. Задачи, решаемые групповым методом, сводятся к специализации, технологической концентрации в виде многоинструментальной и многопредметной обработки, к совмещению времени выполнения основных и вспомогательных элементов работы на базе конструкторско-технологической классификации деталей. В качестве классификационных признаков используются технологические характеристики деталей, которые в сочетании с конструктивными признаками определяют их технологическое подобие.

Структура конструкторско-технологического кода, (КТК) состоящая из конструкторской (13 разрядов) и технологической (14 разрядов) частей [2, 3], обеспечивает обработку информации в различных кодовых комбинациях для решения производственных задач и допускает использование частей кода и их сочетаний в зависимости от характера решаемых задач, а также использование средств вычислительной техники при проектировании технологических процессов. После завершения классификации и кодирования деталей полученная информация используется для составления группового технологического процесса.

При построении групповых технологических процессов механической обработки за основу берется комплексная деталь, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для деталей данной группы, и являющаяся ее конструкторско-технологическим представителем. Следовательно, составленный на комплексную деталь технологический процесс с небольшими дополнительными подналадками оборудования применим при изготовлении любой детали группы, но не исключена обработка некоторых деталей с пропуском отдельных операций.

На основе матрицы соответствия между поверхностями комплексной детали и поверхностями деталей группы выявляется востребованность групповых операций для деталей данной группы.

При разработке группового технологического процесса необходимо исходить из того, что принятая последовательность технологических операций должна обеспечивать обработку любой детали группы в соответствии с чертежом и техническими требованиями Решение этой задачи облегчается тем, что уже при классификации деталей учитываются возможные методы обработки каждой из них (т. е. заранее определяется оборудование, а в ряде случаев и последовательность обработки), обеспечивающие получение готовой детали. Результаты классификации и кодирования 53 деталей типа зубчатых колес, втулок, муфт и стаканов проведенные на базе Абаканского опытно – механического завода (АОМЗ) представлены в таблице, но в КТК деталей изъяты первые четыре разряда в связи с тем, что они характеризуют предприятие – изготовитель и не представляют интереса с точки зрения конструкторско – технологической информации о конкретных деталях, т. е. КТК начинается с 5-го разряда.

При организации гибкого производства на основе групповой технологии изготовления деталей, объединенных технологическим единством, общий объем перерабатываемой информации значительно уменьшается, так как во всем технологическом цикле на каждом этапе разработки технологических процессов можно применять однотипные или близкие технологические решения, а также ограниченное число типов технологического оборудования. Ограниченный набор операций позволяет использовать высокопроизводительное специальное технологическое оборудование с ЧПУ, допускающее автоматизированную переналадку в пределах диапазона размеров деталей.

Групповой технологический процесс механической обработки деталей типа зубчатых колес, втулок, муфт и стаканов на базе АОМЗ, представленный в таблице и охватывающий 53 детали, состоит из одной типовой и 6 групповых операций вместо 250 индивидуальных операций. При этом первые две токарные операции с ЧПУ характерны для всех деталей группы, операции зубодолбежная, зубозакругляющая, зубошлифовальная и протяжная присущи большинству деталей, а зубофрезерная операция является типовой в связи с технологическими особенностями ряда (17) деталей группы.

Себестоимость изготовления детали включает кроме себестоимости механической обработки себестоимость изготовления заготовки. Высокая стоимость технологической подготовки заготовительного производства, в особенности его технологической оснастки, делает невозможным применение прогрессивных методов формообразования заготовок в серийном и мелкосерийном производстве.

Таблица

Групповой технологический процесс

Конструкторско-технологический код	Токарная с ЧПУ	Токарная с ЧПУ	Зубофрезерная	Зубодолбежная	Зубозакругляющая	Зубошлифовальная	Протяжная
721696.001.ЖВ8124.24.33406Д	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ
721696.002.ББ8124.24.34206В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721696.003.ГВ9124.24.34446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721696.004.ЕВ9124.24.34446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721696.005.ДВ9124.24.34446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721696.006.ВД9124.24.34446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721622.001.ВБ9124.24.34446В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	
721622.002.ГД9124.24.34404Г	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
721622.003.ВБ9124.24.34404В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	
721385.001.Г99124.24.14406Б	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721385.002.ЕБА124.24.34206Г	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
721385.003.ЕА9124.24.14436Г	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721385.004.ББ8124.24.34346А	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721384.001.БА7124.24.24406А	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721384.002.ЕВ8124.24.14446Г	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.003.ЕБ8124.24.14446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721384.004.Г99124.24.34406Б	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721384.005.ГБ8124.24.14446В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721384.006.БА6124.24.33406Г	Δ	Δ		Δ		Δ	
721384.007.9Б7124.31.334469	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721384.008.ДБ9124.24.14436Г	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.009.ГА9124.24.34446В	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.010.ГБ9124.24.34446В	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.011.ЕА 9124.24.34446Г	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721384.012.ЖБ9124.24.14446Г	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.013.ЕБ9124.24.14446В	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ
721384.014.Г99124.24.24446В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	
721384.015.А96124.24.34406Г	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721384.016.ЕБА124.24.14446Г	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
721375.001.ГА9124.24.14446В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721375002.ВБ9124.24.14436В	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ
721364.001.ВБ8124.24.34446Г	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ
721364.002.ГВГ124.24.34446Д	Δ	Δ	Δ			Δ	
721364.003.ЖВ8124.24.34446Е	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ
721374.001.895124.31.123468	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
721374.002.ББ8124.24.34446В	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721374.003.БВ8124.24.34446Б	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ
721366.001.ЖВБ124.24.33446Д	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ
721376.001.ВА9124.24.14446Б	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
721365.001.ДВВ044.24.14336Г	Δ	Δ		Δ			Δ
721373.001.8А6044.31.434428	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
712352.001.ДВВ314.11.33440В	Δ	Δ					
712352.002.ГББ314.11.33400Б	Δ	Δ					
712352.003.ГАА314.11.33440В	Δ	Δ					
712352.004.АБ9314.11.424009	Δ	Δ					
713352.001.ГГА044.24.43400В	Δ	Δ					
713352.002.ЖГВ314.11.33440Г	Δ	Δ					
712353.001.В9Б044.51.444409	Δ	Δ					
711352.001.ГАВ044.51.44440А	Δ	Δ					
711352.002.ГБВ034.51.444009	Δ	Δ					
711351.001.БАА034.51.145509	Δ	Δ					
711351.002.ВБА314.51.33440В	Δ	Δ					
711343.001.В9Б314.51.13340А	Δ	Δ					

На основе постоянной части технологического кода (разряды 14–19 КТК) сформировано 10 комплексных заготовок [4], охватывающих 27 деталей, независимо от их конструктивных особенностей, что позволяет повысить серийность и применить более прогрессивные методы изготовления заготовок.

В связи с тем, что все детали изготавливаются механической обработкой (разряд 19), главную значимость при создании комплексных заготовок приобретают материал детали и их размерные параметры, т. е. разряды 14÷17 КТК.

При этом учитываются следующие признаки:

• общность и расположение элементов, определяющих конфигурацию деталей;

• однородность материала деталей;

• близость и соотношение размеров деталей, что позволяет уменьшить расход материала;

• технологическая сложность деталей;

• серийность деталей.

Метод изготовления каждой комплексной заготовки выбирается в зависимости от материала заготовки и по технико-экономическим соображениям в зависимости от серийности комплексной заготовки. Остальные 26 деталей необходимо изготавливать из индивидуальных заготовок.

Список литературы

1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства / С.П. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1983.
2. Горст Ю.В. Классификация и кодирование деталей машиностроения и приборостроения: учеб. пособие / Ю.В. Горст, В.Ю. Горст. – Красноярск: КГТУ, 2004. – 194 с.
3. Горст Ю.В. Технологическая классификация и кодирование деталей машиностроения и приборостроения: учеб. пособие / Ю.В. Горст, В.Ю. Горст. – Красноярск: СФУ, 2007. – 128 с.
4. Горст Ю.В. Формирование комплексных заготовок / Ю.В. Горст, В.Ю. Горст – Материалы международной научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения» – Орел, 2003. – 42–45 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОПРИВОДОВ МАШИН

Григорьев В.А., Минниахметов А.В.

Научный руководитель: Ларионов С.А. к.т.н.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия г. Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: grigorevq@mail.ru

Разнообразие гидрофицированной техники нового поколения с элементами автоматики непрерывно растет. Важнейшим средством увеличения эксплуатационной надежности гидроприводов машин является техническая диагностика. Основные направления диагностики: контроль и прогнозирование технического состояния гидропривода, поиск места и определение причин отказа, возникающих в гидроприводе машин.

На основании анализа накопленного многолетнего опыта в вопросах технической диагностики отечественных организаций, таких как ВНИИстройдормаш г. Москва, МИИТ г. Москва, СибАДИ г. Омск и др. [1,2,3], в ТГАСУ разработаны и активно используются универсальные технические средства и методы диагностики гидроприводов машин. Один из них: способ определения неисправности в гидроприводе машин запатентован [4].

Анализ возможных причин отказа проводится на основании техники чтения гидросхем по атласам, которые представляют собой комплект ламинированных принципиальных гидравлических схем на каждый цикл выполняемых операций с цветовыделением. В схемах красным цветом выделено направление потоков рабочей жидкости и распределение номинального давления по возможным гидравлическим линиям и соединениям основного и смежного гидрооборудования от насоса до рабочих полостей работающих гидродвигателей. Другим цветом на схемах выделено направление потока и распределение низкого давления по возможным гидравлическим линиям и соединениям в гидросистеме дистанционного управления. В атласах указаны контрольные точки включения диагностической аппаратуры, приведены технические параметры регулировки гидроклапанов. Атласы разработаны для более 60 единиц отечественной и зарубежной гидрофицированной техники.

Разработанный алгоритм выполнения работ при диагностировании гидроприводов машин состоит из следующих этапов:

1. Изучение гидропривода дефектной машины по техническому руководству.
2. Беседа с оператором машины с целью получения информации по вопросам:
   - наличие отказов;
   - работоспособность циклов;
   - как случился отказ;
   - выполнялись ли им самостоятельные регулировки гидросистемы;
   - дата выполнения последнего ТО
3. Опрос работоспособности машины по инвентарным и дополнительно установленным точкам с помощью баротестера.
4. Анализ возможных причин отказа.
5. Проведение окончательных тестов диагностики с помощью гидротестеров.

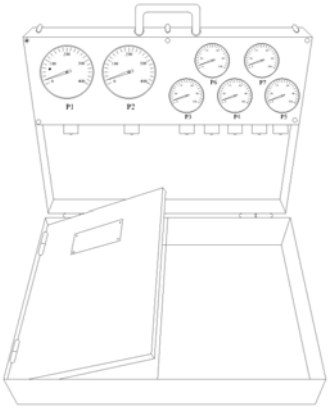
Полученная информация опроса технического состояния позволяет выделить работоспособные и неработоспособные циклы. Сопоставляя принципиальные гидравлические схемы неисправной и работоспособной подсистем, устанавливают общую для них и перекрывающую друг друга элементную базу, которую исключают из проверки на неисправность, а поиск причин отказа осуществляют в тех элементах неисправной подсистемы, которые выходят за пределы общей элементной базы.

Такой подход при диагностировании позволяет локализовать участок в гидросхеме, из-за которого возник отказ в гидросистеме без лишних трудоемких операций по разъединению трубопроводов и поэлементной диагностики, что ведет к сокращению времени поиска отказов и уменьшению вероятности потери герметичности гидросистемы.

Первичный опрос и настройка режимных параметров в гидроприводе выполняется баротестером. Баротестер [5] представляет собой диагностическое устройство, предназначенное для контроля давления в подсистемах гидроприводов любых машин и настройки режимных параметров клапанов давления. Транспортабельность, малые габариты, возможность разделения на приборный и инструментальные модули, оснащение манометров микрошлангами с быстроразъемными соединениями позволяет быстро включать баротестер в системы гидроприводов машин.

Внешний вид и технические характеристики баротестера представлены на рис. 1.

Для снижения трудоемкости и увеличения быстродействия диагностирования машин разработана система автоматизированного контроля состояния гидропривода [6], структурная схема которой приведена на рис. 2. Система автоматизированного контроля содержит гидротестер 1, включающий датчики температуры 2, частоты вращения вала насоса 3, давления 4, расхода рабочей жидкости 5.



а

№	Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	Измеряемое давление	МПа	6…40
2	Количество контрольных точек подключения в гидросистему	шт.	5 или 7
3	Класс точности	К	1…1,5
4	Масса	кг	8
5	Длинна микрошланга	мм	от 2000
6	Габариты	мм	470х390х125

б

Рис. 1. Баротестера БР-7: а – внешний вид; б – технические характеристики

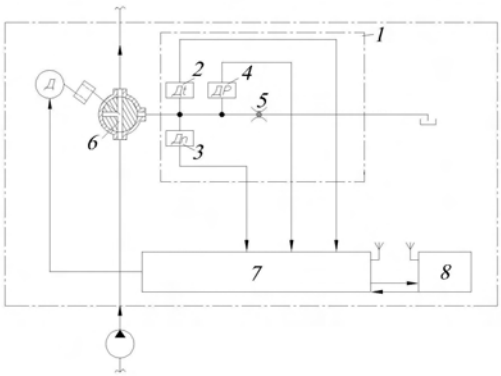


Рис. 2 Система автоматизированного контроля технического состояния гидропривода

Гидротестер подключен к выходу трехходового распределителя 6, выполненным с возможностью переключения и фиксации золотника в трех рабочих положениях [7]. Переключение распределителя и диагностика всех подсистем гидропривода производится при помощи персонального компьютера 8, через электронный блок управления 7 связанный с последним посредством радиомоста.

Сочетание разработанной методики поиска неисправностей и технических средств диагностики позволяет проводить сервисное обслуживание гидрофицированной техники в обширном регионе Западной Сибири.

Список литературы

1. Алексеева Т.В., Колосов С.В. и др. Диагностирование гидропривода строительных и дорожных машин // Строительные машины, 1983. – №12.
2. Гринчар Н.Г., Симонов С.Н. Алгоритмы поиска отказа в гидроприводах машин // Механизация строительства, 2001. – №11.
3. Любельский В.И., Писарев А.Г. Совершенствование системы диагностирования гидроприводов строительных и дорожных машин // Подъемно-транспортные машины, 1998. – N3.
4. Патент на изобретение 2244172 РФ F15B19/00. Способ определения неисправностей в системе гидропривода машин / С.А. Ларионов, А.С. Ларионов, А.Л. Терехов. – №2003112544/06; заявлено 28.04.2003; опубликован 10.01.2005. Бюл. №1 // Изобретения, полезные модели. – 2005. – №4.
5. Патент на полезную модель № 84112. Баротестер для диагностики гидропривода / А.Л. Терехов, С.А. Ларионов. – №2009109643/22; заявлено 17.03.2009, опубликован 27.06.2009.
6. Патент на полезную модель № 90860. Система автоматизированного контроля технического состояния гидропривода / В.А. Григорьев, А.В. Минниахметов, С.А. Ларионов, А.Л. Терехов, А.А. Ермакова. – № 20091366188; заявлено 29.11.2009, опубликовано 20.01.2010.
7. Патент на полезную модель № 82280. Устройство для подсоединения диагностического оборудования и перераспределения потоков при диагностировании гидросистем / В.А. Григорьев, А.В. Минниахметов, С.А. Ларионов, А.Л. Терехов, А.Н. Гаврилин, В.В. Зачиняев. – № 2008146326/22; заявлено 24.11.2008, опубликовано 20.04.2009.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОРМЫ НАБИВНЫХ СВАЙ

Грузин Т.В.

Научный руководитель М. В. Кучеренко ассистент

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

В связи с освоением новых нефтегазовых месторождений в отдалённых районах, где природные условия очень сложны и характеризуются наличием пространств, сложенных слабыми грунтами, особенно актуальным является снижение капитальных затрат на этапе строительства. Очевидно, что решение данной проблемы тесным образом связано, в том числе, и с внедрением прогрессивных типов фундаментов. Совершенствование фундаментов и методов их возведения, переход к бескотлованному строительству, – всё это ведёт к уменьшению расхода строительных материалов, сокращению временных затрат, а так же снижению трудоёмкости с одновременным обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик. Этим требованиям в большей степени отвечают свайные фундаменты [1].

Одним из способов увеличения несущей способности свайного фундамента является разработка конструкции сваи с развитой боковой поверх-

ностью. Форма поперечного сечения сваи должна обеспечивать возможно большую величину отношения периметра к площади, им ограничиваемой. Ранее выполненными исследованиями показано, что в полной мере данным требованиям удовлетворяет свая с поперечным сечением в виде укороченной гипоциклоиды [2]. Например, использование укороченной гипоциклоиды в качестве поперечного сечения для забивной пирамидальной сваи позволяет увеличить её несущую способность в 3,32 раза по сравнению со стандартной забивной призматической сваей квадратного сечения равного ей объёма [3].

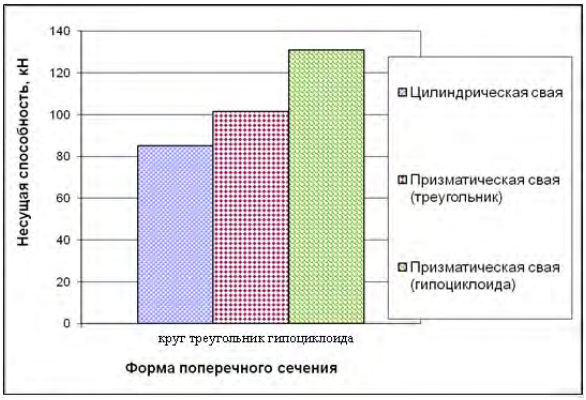


Рис. 1. Несущая способность набивных свай с различной формой поперечного сечения

В ходе выполненных исследований была проанализирована несущая способность набивных свай в форме цилиндра, а так же в форме призмы с поперечным сечением в виде равностороннего треугольника и с поперечным сечением в виде трёхлучевой гипоциклоиды [4]. В качестве исходных данных для сравнительного анализа была выбрана цилиндрическая набивная свая со следующими параметрами: диаметр набивной сваи D=0,3 м, высота сваи h=5 м. Параметры остальных набивных свай были выбраны из расчёта равенства площадей поперечного сечения и высоты аналогичным параметрам для цилиндрической набивной сваи. В качестве грунта был выбран пылеватоглинистый грунт с показателем текучести I_L=0,4. Результаты расчёта несущей способности свай представлены графически (см. рис. 1).

Из приведённых данных видно, что несущая способность призматической набивной сваи с поперечным сечением в виде правильного треугольника в 1,19 раза выше, чем для цилиндрической набивной сваи равных длины и объёма. Несущая способность призматической набивной сваи с поперечным сечением в виде укороченной гипоциклоиды в 1,54 раза выше, чем для цилиндрической набивной сваи равных длины и объёма. Полученные данные подтверждают результаты ранее выполненных исследований о перспективности использования в качестве поперечных сечений свай форм с возможно большим отношением их периметра к площади сечения, им ограничиваемой [2].

На заключительном этапе сравнительного анализа была проведена оценка стоимости единицы несущей способности набивной сваи, исходя из стоимости материалов – бетона и металлопроката, требуемых для изготовления рассматриваемых свай [5, 6]. Результаты расчёта представлены графически (см. рис. 2).

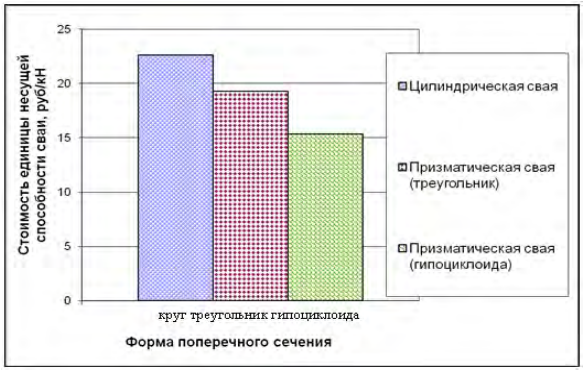


Рис. 2. Стоимость единицы несущей способности набивных свай с различной формой поперечного сечения

Из приведённых данных видно, что стоимость единицы несущей способности призматической набивной сваи с поперечным сечением в виде правильного треугольника на 15 % ниже, чем для цилиндрической набивной сваи равных длины и объёма. Стоимость единицы несущей способности призматической набивной сваи с поперечным сечением в виде укороченной гипоциклоиды на 32 % ниже, чем для цилиндрической набивной сваи равных длины и объёма.

Выводы

• Использование набивных призматических свай с поперечным сечением в виде укороченной гипоциклоиды позволяет увеличить её несущую способность в 1,54 раза по сравнению с традиционной цилиндрической сваей равного объёма.

• Стоимость единицы несущей способности набивной призматической сваи с сечением в виде укороченной гипоциклоиды меньше аналогичного параметра для цилиндрической сваи равного объёма на 32%.

Список литературы

1. Абраменков Д.Э., Грузин А.В., Грузин В.В., Нуждин Л.В. Технология и механизация подготовки оснований и устройства свайных фундаментов / под общ. ред. В.В. Грузина. – Караганда: Болашак-Баспа, 2002. – 264 с.
2. Грузин В.В., Грузин А.В. К вопросу о гипоциклоиде // Актуальные проблемы современности: Международный сборник научных трудов. – Караганда: Болашак-Баспа, 2004. – Вып. 1. – С. 172–173.
3. Грузин А.В., Грузин В.В. Анализ удельной несущей способности свай с различной формой поперечного сечения // Актуальные проблемы современности: Международный научный журнал. – Караганда: Болашак-Баспа, 2009. – №12(46). – С. 27–30.
4. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
5. www.tsf.ru
6. www.zao-beton.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРАТИФИЦИРВАННОГО ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ СРЕД

Гуданов И.С., Юрыгин П.П., Гончаров Г.М.

Научный руководитель: Гончаров Г.М., д.т.н., профессор

Ярославский государственный технический университет,
150023, Россия, г. Ярославль, Московский пр-т, 88
E-mail: goudanov@ya.ru

Основной технологической схемой реализации процесса получения агрегированных длинномерных изделий из полимерных материалов является совместное профилирование на экструзионном или валковом оборудовании. Получение заготовки осуществляется методом соэкструзии на мультиплексных червячных агрегатах. Предварительно пластифицированные материалы из экструдеров подаются в питающие каналы формующей головки, которые затем объединяются в один общий канал. Последний служит для объединения материальных слоёв и придания им профиля будущего изделия. Происходящее при этом течение носит название стратифицированного. На этой стадии процесса происходит формирование межматериальной границы. Её форма и положение многофакторны и изменимы во времени. Поэтому для корректного описания стратифицированного течения аномально-вязких сред необходимо учитывать неизотермичность процесса, специфику области совместного деформирования и особенность граничных условий [1].

Аналитический обзор научных исследований показал, что в настоящее время энергетическая картина стратификации полимеров изучена недостаточно. Это ограничивает возможности проведения научно-обоснованного прогнозирования качества сдублированных профилей. На основании этого был предложен метод расчёта энергетических параметров процесса: температуры и диссипации кинетической энергии [2]. Для решения этой задачи приняты следующие допущения: течение ламинарное и нестационарное; температуры по длине границ области дублирования однородны; передача тепла от одного материала к другому осуществляется теплопроводностью; совмещаемые материалы несжимаемы, а их реологическое уравнение состояния подчиняется «степенному закону».

Анализ уравнений гидродинамики с вышеперечисленными допущениями позволил сформулировать поставленную задачу в виде следующей системы уравнений:

- уравнение движения:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial t \partial x} + \frac{\partial F \partial p}{\partial x^2} = \frac{\partial F \partial v_x}{\partial t^2} + \frac{\partial F \partial v_x}{\partial x^2} v_x + \frac{\partial F \partial v_x}{\partial y^2} v_y + \frac{\partial F \partial v_x}{\partial z^2} v_z, \forall x \in \Omega,$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial t \partial y} + \frac{\partial F \partial p}{\partial y^2} = \frac{\partial F \partial v_y}{\partial t^2} + \frac{\partial F \partial v_y}{\partial x^2} v_x + \frac{\partial F \partial v_y}{\partial y^2} v_y + \frac{\partial F \partial v_y}{\partial z^2} v_z, \forall y \in \Omega,$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial t \partial z} + \frac{\partial F \partial p}{\partial z^2} = \frac{\partial F \partial v_z}{\partial t^2} + \frac{\partial F \partial v_z}{\partial x^2} v_x + \frac{\partial F \partial v_z}{\partial y^2} v_y + \frac{\partial F \partial v_z}{\partial z^2} v_z, \forall z \in \Omega,$$

- уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0,$$

- уравнение энергии:

$$(\rho c_p)_l v_l \cdot \nabla T_l = k_l \nabla^2 T_l + g_l,$$

где v_x, v_y, v_z – составляющие результирующей скорости; p – давление; F – псевдоконцентрация; T – температура; ρ – плотность; c_p – теплоёмкость; g_l – диссипативная функция.

С помощью предложенной модели был изучен механизм деформирования поверхности раздела материалов и дано описание энергетической картины бикомпонентного течения в формующих головках типа «Дуплекс» для выпуска протекторных заготовок автомобильных шин.

Распределение температур в области совместной деформации при переработке оказывает существенное влияние на качественные показатели процесса соэкструзии, в частности на конечное состояние поверхности раздела материалов. Локальные приросты температуры в областях застоя и интенсивного сдвига могут быть значительными и приводить к преждевременной подвулканизации резиновой смеси [3] одного из слоёв и фиксировать форму границы раздела, не позволяя её корректировать при дальнейшем течении. Оценка данных температурных градиентов, а также диссипации кинетической энергии производилась численным методом путём преобразования уравнения сохранения энергии по схеме полунеявного метода Эйлера.

При расчёте основных энергетических параметров в дуплексных и триплексных головках в качестве исходных данных использовались температурное поле на входе в формующие каналы и температуры на стенках каналов, фиксируемые датчиками головки агрегата.

На рис. 1 представлено изменение температурного профиля материалов по всему объёму области совместного деформирования.

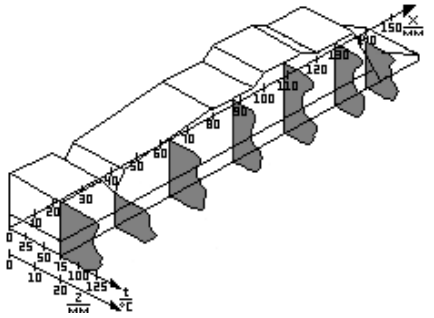


Рис. 1. Распределение температур на выходе из дублирующей планки триплексной головки для выпуска протекторов а/п Я-646 (275/70R22,5)

Как видно из представленного распределения, изменение температуры в области совместного течения имеет достаточно сложный характер. В частности в её выходном сечении температурный профиль имеет три максимума – два вблизи стенок канала и один максимум ближе к поверхности раздела в более вязком материале. Повышение температуры по направлению к стенкам канала объясняется разогревом материалов вследствие возрастающей скорости сдвига. А образование локального максимума вблизи граничной поверхности обусловлено диссипативным разогревом из-за выравнивания скоростей материалов. Снижение температуры вглубь слоёв объясняется теплоотдачей перерабатываемых материалов стенкам, имеющим собственную систему темперирования.

Несмотря на названную неоднородность температурного профиля, распределение диссипации кинетической энергии (рис. 2) имеет два максимума на периферии области стратификации. Наличие последних определяется превращением механической энергии шнеков в тепловую энергию диссипации, способствующей продвижению материалов через область совместного деформирования и затрачиваемой на преодоление трения стенок формующего канала.

Минимум диссипации кинетической энергии отмечен вблизи прохождения поверхности раздела материалов, поскольку сформированная при течении искажённая поверхность оказывается энергетически более выгодной (требует меньшей энергии), чем плоская. Данный вывод справедлив только для установившегося стратифицированного течения неньютоновских жидкостей. В реальных процессах соэкструзии время пребывания материалов в области стратификации мало, и установившийся вид границы раздела в типичном дублирующем канале небольшой длины (10-30 мм), по-видимому, не может быть достигнут. Данный факт также подтверждает неравномерное эластическое восстановление материалов, в частности одного в направлении другого.

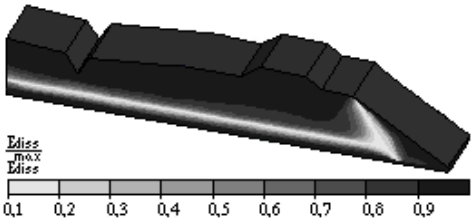


Рис. 2. Распределение изоконтуров безразмерной диссипации кинетической энергии по объему дублирующей планки триплексной головки для выпуска протекторов а/п Я-646 (275/70R22,5)

На основании полученных результатов могут быть предложены рекомендации по оптимальной организации системы темперирования мультиплексных экструзионных агрегатов, обеспечивающей требуемое качество многослойных изделий.

Список литературы

1. Винокурова Е.А. Метод расчёта сдвиговых головок для диссипативного разогрева резиновых смесей при экструзии: дис. ... канд. техн. наук. – Ярославль, 1996. – 138 с.
2. Гуданов И.С., Лаврентьев Ю.Б., Гончаров Г.М. Численное моделирование процесса соэкструзии резиновых смесей // Сборник материалов и статей XX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Ярославль, 2007. – Т. 1. – С. 171–174.
3. Бадаева Н.В. Метод расчёта подвулканизации резиновых смесей в процессе течения в диссипативных головках экструдеров: дис. ... канд. техн. наук. – Ярославль, 2004. – 160 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФАСОННОГО ИНСТРУМЕНТА

Байкин П.И., Гюнтер А.Н., Кузнецов М.С.

Научный руководитель: Желтобрюхов Е.М., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: tms_hti@list.ru

В настоящее время большое значение приобретают методы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов их изготовления, что обеспечивает повышение производительности и качества проектирования. При механической обработке деталей очень важную роль играет режущий инструмент, качество изготовления которого имеет решающее значение при обеспечении качества изготавливаемой детали. Но качество инструмента определяется не только качеством его изготовления, но и, в значительной степени, качеством его проектирования. Существующие методики расчета параметров инструментов, особенно сложнопрофильных, основаны на применении графо-аналитического метода проектирования с использованием табличных данных,

различных графиков, номограмм и т.п. и плохо приспособлены для автоматизированного расчета с применением ЭВМ. Предпринимаются попытки решения этой проблемы: – в научной и технической литературе можно найти примеры автоматизированного расчета геометрических параметров инструментов; в ряде случаев приведены программы расчета (точнее, фрагменты программ), однако нет примеров комплексного решения задачи, которое, по нашему мнению, представляет собой получение рабочего чертежа инструмента, разработанного на основе исходных данных, определяющих необходимое качество обрабатываемого этим инструментом изделия.

На кафедре МиМТ Хакасского технического института- филиала СФУ в последние годы преподавателями и студентами поставлена и успешно решается задача обеспечения комплексного проектирования инструмента с получением готового рабочего чертежа для непосредственного изготовления инструмента, т. е. решается задача создания САПР режущих инструментов.

Современные САПР имеют модульный принцип организации. Каждый модуль предназначается для решения логически завершенной задачи и представляет собой законченную подсистему.

В представленной работе поставлена задача создания модуля, объединяющего программы по расчету режущих инструментов для обработки точением наружных фасонных поверхностей, а также фрезерования спиральных канавок сверл. Фасонные резцы и фрезы относятся к специальному инструменту, имеющему сложный профиль режущей части, проектирование которого сопряжено с выполнением большого объема вычислительных работ большой трудоемкости. Поэтому применение ЭВМ для автоматизации этого процесса имеет широкие перспективы для повышения производительности и качества проектирования конструктора-инструментальщика.

Компьютерная программа автоматизированного расчета и проектирования инструмента для получения фасонных поверхностей выполнена в виде отдельного исполняемого модуля и набора баз данных. При этом модуль включает в себя три самостоятельных подпрограммы, которые автоматизируют процесс проектирования и расчета геометрии следующих режущих инструментов:

- фасонный круглый резец;
- фасонный призматический резец;
- фасонная фреза.

Каждая подпрограмма выполнена в виде отдельного файла, который запускается из формы общего модуля.

Подход к разработке данного модуля – подсистемы основан на общих принципах, характерных для современных САПР, в частности принципа открытости, подразумевающего возможность расширения САПР путем интеграции в нее новых пакетов расчетных программ. Также предполагается, что данная подсистема может быть интегрирована в более мощную конструкторско-технологическую САПР режущих инструментов, работающую на единых принципах и использующую общие базы данных и ориентированную на мощное современное программное обеспечение конструкторского проектирования.

Подробнее рассмотрим работу программы на примере подпрограммы проектирования фасонной фрезы.

Фасонная фреза представляет собой многолезвийный режущий инструмент, у которого режущая кромка не параллельна оси вращения и представляет собой совокупность кривых и прямых линий, а профильная поверхность изделия образуется в результате вращения режущей кромки. Профиль фасонной фрезы является следом вращения ее режущей кромки относительно оси инструмента. Сложность формы режущей кромки и кинематики рабочих движений при обработке изделия предопределили такое состояние в проектировании фасонных фрез, что основным методом до настоящего времени являлся графоаналитический. Однако этот метод не обеспечивает высокой точности и качества проектирования, является трудоемким и малопроизводительным. Создание и развитие теории производящих поверхностей позволило получить достаточно точные функциональные зависимости, связывающие параметры производящей поверхности, кинематику формообразующих движений и параметры производной (обрабатываемой) поверхности.

В то же время, эта давно известная и широко применяемая методика не учитывала особенностей применения ЭВМ, что вызывало определенные трудности в адаптации ее к машинному счету. В частности, применение этой методики расчета основано на выборе большого количества параметров с использованием обширных справочных данных, не поддающихся корреляции и возможности установления точных функциональных связей параметров инструмента и детали. Это вызвало необходимость введения режима диалога при выборе определенных параметров и в ходе расчета, а также создания баз данных по справочным материалам. В тоже время, использование режима диалога, как правило, повышает качество принимаемых решений, а также является полезным при использовании этой программы в учебных целях.

Расчет фасонной фрезы для обработки винтовой канавки спирального сверла состоит из трех частей: расчет профиля канавки сверла, расчет положение фрезы относительно заготовки сверла и расчет зуба фрезы. При этом расчет положение фрезы относительно заготовки сверла никаких трудностей не вызывает и описывается тремя линейными уравнениями. Более сложными и трудоемкими являются остальные части, и именно эти расчеты следует автоматизировать в полной мере.

После загрузки программы на экране появляется окно, представленное на рис. 1.

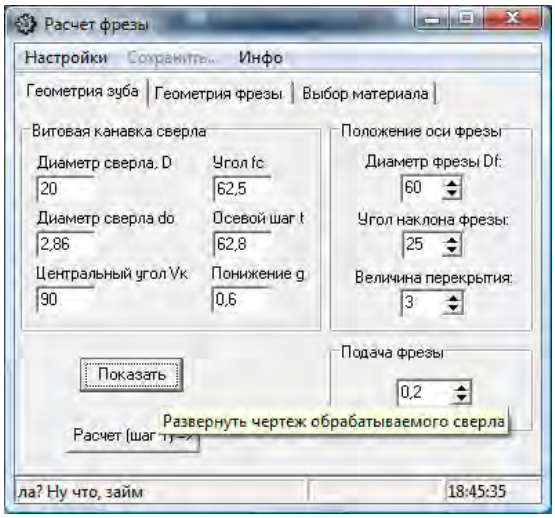


Рис. 1. Исходная форма программы – ввод исходных данных и данных, необходимых для проектирования

В данном окне в соответствующие поля нужно ввести данные сверла, для получения винтовой канавки которого предназначена фреза, и возможные данные размеров и положения фрезы относительно заготовки сверла.

Результатом работы программы «Фрезы» является создание рабочего чертежа инструмента, который после незначительных доработок в КОМПАС – График будет иметь вид, показанный на рис. 2.

Разработанные компьютерные программы предназначены для автоматизации расчетов, осуществляемых на этапах технологической и организационной подготовки основной системы машиностроительного производства, с целью повышения качества проектных решений и сокращения затрат времени инженеров-технологов и проектировщиков. Кроме того, компьютерная программа автоматизированного расчета и проектирования инструмента для получения фасонных поверхностей может быть использована как обучающая программа в учебном процессе высших учебных заведений для повышения качества подготовки студентов машиностроительных специальностей вследствие наличия удобного и наглядного интерфейса и развитой справочной системы.

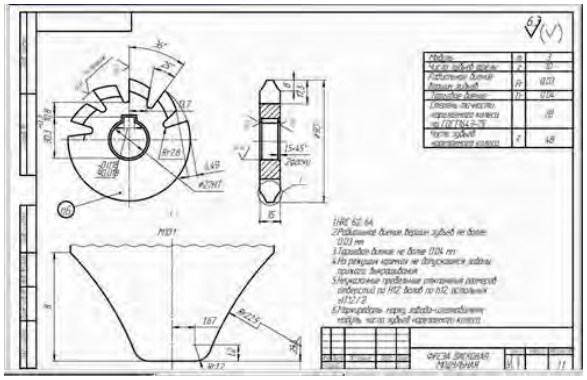


Рис. 2. Рабочий чертеж фасонной фрезы, созданный программой «Фреза»

Программа реализована с помощью мощного средства создания приложений – объектно-ориентированного языка Pascal в среде Delphi. Чертеж проектируемых инструментов создается с помощью средств автоматизации для программного пакета КОМПАС (ориентированные на прикладного программиста инструментальные средства разработки дополнительных модулей (прикладных библиотек и приложений), предназначенные для организации вызова функций КОМПАС из программ на языках программирования Си++, Паскаль, Бейсик)

Программный модуль автоматизированного расчета и проектирования инструмента для получения фасонных поверхностей является подсистемой «САПР режущего инструмента», разрабатываемой на кафедре МиМТ Хакасского технического института – Филиала СФУ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ НА СТРОЕНИЕ ПОЛУЧАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

Дегтерев А.С.

Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Degterev@tpu.ru

Плазменная наплавка высокопроизводительна, позволяет в широких пределах изменять параметры технологического процесса, обеспечивать минимальную долю участия основного металла в упрочненном слое, получать покрытия толщиной от 0,3 до 6 мм [1]. Поэтому, она получила широкое распространение в промышленности для восстановления и упрочнения деталей механизмов и машин. Однако в случае создания покрытий значительной толщины за один или несколько проходов, условия охлаждения вблизи границы сплавления с упрочняемой деталью и на поверхности наплавляемых валиков различны. А это, в свою очередь, часто выражается химической и структурной неоднородностью, для уменьшения которой различными авторами предлагается введение

ультразвуковых колебаний или электромагнитных полей, смешивание различных фракций порошка и изменение режимов наплавки [1, 2]. Современные технологии анализа микроструктуры с высокой точностью позволяют количественно охарактеризовать степень ее неоднородности, а значит, делают возможным эффективное и целенаправленное изменение технологических параметров плазменной наплавки.

Целью работы является определение степени влияния силы тока и скорости плазменной порошковой наплавки на формирующуюся макро- и микроструктуру покрытий, выполненных с применением порошка ПР-Х18ФНМ.

Покрытия наносили с помощью установки плазменной порошковой наплавки УПН-303. Использовали водоохлаждаемый плазмотрон, конструкция которого предполагает установку медного электрода с Hf вставкой диаметром 5 мм, подачу плазмообразующего и транспортирующего газов. Для обеспечения повышенного уровня защиты создаваемых упрочняющих слоев от вредного влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли Ar высшего сорта. Покрытия наплавляли за один проход на массивную заготовку из стали Ст3сп. Режимы наплавки приведены в таблице 1, химический состав наплавляемого порошка фракции 50-200 мкм следующий: 2,1-2,4 % C, 17-19% Cr, 2-3 %Ni, Fe-основа, 7-8% V и 2-2,6 % Mo (по массе).

Микроструктуру наплавок исследовали с помощью оптического микроскопа Olyimpus GX51 снабженного анализатором SIAMS 700. Для выявления первичных равноосных карбидов ванадия микрошлифы наплавленных покрытий подвергали травлению царской водкой. Для выявления эвтектических карбидов хрома образцы на 60 секунд погружали в водный раствор красной кровяной соли и гидроокиси калия. Оценивали объемные доли упрочняющих фаз, средние площади и количество карбидных частиц.

Таблица 1

Режимы наплавки

№	I, A	Vнапл	U= 35–45 В, Vподачи=10
1	160	4	
2	190	4	
3	220	4	
4	160	5	
5	190	5	
6	220	5	
7	160	6	
8	190	6	
9	220	6	

*- напряжение на якоре приводного двигателя.

При наплавке со скоростью 6 м/ч создаются условия для значительного прогрева основного металла, что обеспечивает формирование валиков шириной до 21 мм, характеризуемых малыми углами смачивания. Увеличение скорости приводит к увеличению потерь порошка, снижению отношения ширины к высоте формируемых покрытий и повышению углов смачивания. Режим №7 не обеспечивает равномерного сплавления покрытия с основным металлом.

На основании анализа микроструктуры полученных упрочняющих слоев их можно характеризовать, как композиционные. В карбидной подсистеме присутствуют два типоразмера твердых включений: первичные равноосные карбиды ванадия и эвтектические карбиды хрома. Матрица представляет собой γ- и α-твердые растворы. Равноосные выделения равномерно располагаются по толщине наплавки, выполненной на режимах 1-6. При наплавке со скоростями 6 и 8 м/ч наблюдается небольшое увеличение их объемной доли на токе 220А, а при 10 м/ч – снижение. Диапазон изменения объемной доли мал и составляет 12–14,5 % (рис. 1).

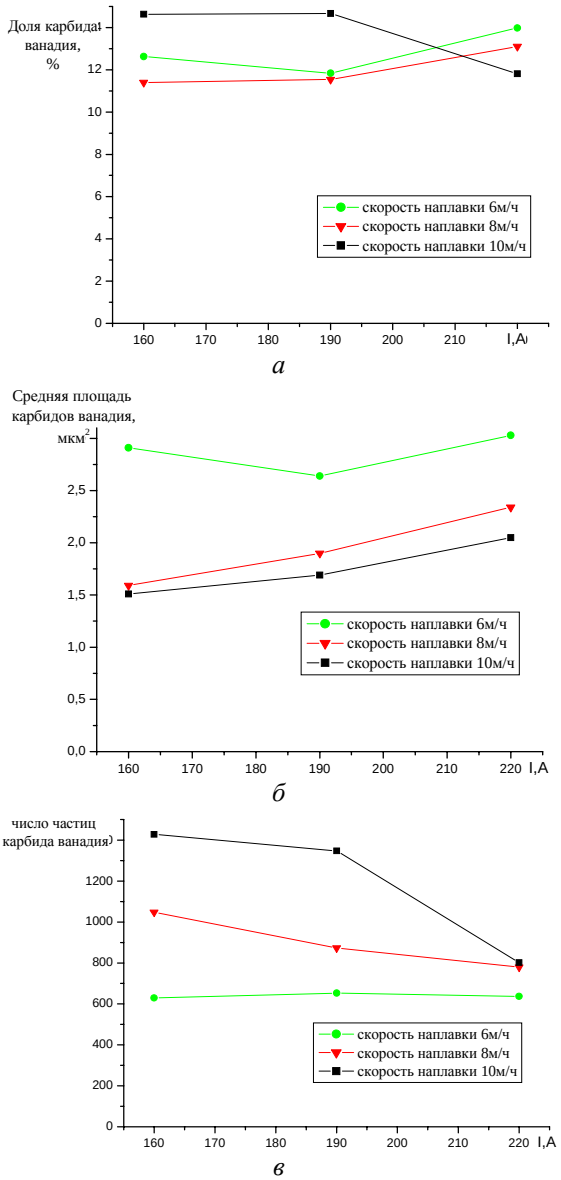


Рис. 3. Влияние силы тока и скорости наплавки на объемную долю (а), среднюю площадь (б) и количество (в) равноосных карбидов

Из рис. 2 и 3 видно, что с повышением силы тока средняя площадь карбидов ванадия несколько увеличивается, а число частиц – уменьшается (наплавки № 4-9), в случае наплавок №1-3 эти величины мало изменяются.

Повышение же скорости наплавки однозначно приводит к измельчению упрочняющих включений и увеличению их количества, но вместе с тем, увеличивает разброс размеров.

Таким образом, увеличение погонной энергии способствует росту площадей равноосных карбидов от 1,5 мкм^2 до 3 мкм^2 и приводит к снижению их общего количества более чем в два раза. Необходимо отметить, что при наплавке на минимальных погонных энергиях (образцы №7 и 8), вблизи границ раздела, обнаружены зоны, содержащие повышенное число карбидных частиц ванадия. Возможно, это связано с незначительным подтеканием сварочной ванны под сжатую дугу при таких скоростях наплавки и, как следствие, быстрой ее кристаллизацией на поверхности образцов основного металла.

В образцах, наплавленных на токе 220 А, доля эвтектических карбидов хрома и их средняя площадь от линии сплавления к поверхности покрытий слабо изменяются, и в зависимости от скорости наплавки составляют 22–26% и 8–13 мкм^2 соответственно. В остальных упрочняющих слоях количество карбидов хрома может увеличивается от 14 до 55%. По мере удаления от границы сплавления отдельные, вытянутые в направлении теплоотвода, эвтектические колони начинают срастаться друг с другом, образуя сплошную сетку по границам зерен. Зона с обширными сетчатыми выделениями наблюдается у наплавок шириной меньше 10 мм, а так же у покрытия №2, на расстоянии не менее 2 мм от упрочняемого металла. Изменения в системе эвтектических карбидов можно связывать с термическим циклом наплавки.

Полученные данные свидетельствуют о чувствительности структуры покрытий исследуемого состава к режиму наплавки. Возможно специальное получение упрочняющих слоев, содержащих в структуре множество мелкодисперсных частиц ванадия, при малом количестве эвтектических карбидов, или покрытий со значительной по толщине карбидной сеткой.

Выводы

1. Увеличение погонной энергии приводит к уменьшению числа частиц равноосных карбидов и увеличению их площадей.

2. Распределение эвтектических карбидов по сечению наплавленного слоя может изменяться в широких пределах от 14 до 55%.

3. Равномерной по строению структурой обладают покрытия, полученные по режимам № 3, 6, 9.

Список литературы

1. Гладкий П.В. и др. Плазменная наплавка. – К.: Екотехнология, 2007. – 292 с.
2. Шевченко О.И. Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке за счет технологических воздействия. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. 2006. – 348 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ БУРОВЫХ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Епихин А.В.

Научный руководитель: Рязанов В.И., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: chehov@sibmail.com

Наряду с высокими темпами развития науки и техники все большее внимание уделяется решению проблем, которые раньше были не актуальны. Одной из таких острых проблем является – несовершенство циркуляционных систем. Зачастую компании, занимающиеся бурением, не хотят тратить финансовые активы на разработку систем очистки бурового раствора для каждого отдельного месторождения, объясняя это тем, что это не практично. Но, как показывает практика, скупость в данном случае приводит к большим материальным затратам при бурении отдельной взятой скважины и весьма повышает опасность получения травм рабочими [1].

Обязанности помощника бурильщика весьма обширны, большинство технологических операций происходит с его участием. Учитывая продолжительность смены (до 12 часов) и трудоемкость его работы можно сделать вывод, что к концу рабочего дня внимание притупляется и высока вероятность получения травмы. Это обусловлено нерациональным расположением оборудования в циркуляционном блоке, а также несовершенством взаимодействия между собой агрегатов с разных ступеней очистки. Актуальность этой проблемы заключается и в том, что в последнее время все предприятия, занимающиеся буровыми работами, переходят на новый уровень культуры производства. Следовательно, проектирование новых циркуляционных систем и творческий подход к совершенствованию уже существующих приведут к

сокращению материальных затрат на бурение и уменьшат опасность получения травм рабочими [1]. Кроме того, не стоит забывать и о стремлении к улучшению условий труда.

Предыдущая работа по данной теме была посвящена анализу циркуляционной системы, используемой СФ ЗАО «ССК» на Шингинском месторождении. Используемая буровая установка – БУ 3000/170 ЭУК-1М.

В ходе преддипломной практики 2008-2009 года было произведено изучение оборудования и технологии бурения ООО «Rus Imperial Group» на кусте №4 Майского месторождения. За это время был проведен анализ недостатков используемой циркуляционной системы, при котором использовался собственный опыт, а также мнения членов буровой бригады. Следует отметить, что циркуляционная система, как и сама буровая установка совершенно новая (произведена в 2006 году, работает с 2009 года) [2]. Но при этом она имеет целый комплекс недостатков, которые приведены ниже:

• Используются емкости параллелепипеидальной формы. После бурения каждого интервала скважине в углах емкостей образуются наносы из шлама и химических реагентов, которые при определенных условиях затвердевают, уменьшают полезную емкость мерника и трудно удаляются. Причем образование этих наносов приводит к изменению свойств раствора и к перерасходу химических реагентов [2].

Предлагается использование емкостей цилиндрической формы и параллелепипеидальной формы со скругленными торцами. В результате сравнительного анализа трех типов емкостей был сделан вывод, что можно запроектировать емкости, которые будут выигрывать в площади и металлоемкости. Кроме того, все расчеты производились в соответствии с правилами перевозки оборудования железнодорожным транспортом, по которым груз должен иметь габариты не более 3,3*4 м. Общий объем емкостей принимается равным 120 м^3.

• Используется желобная система подачи отработанного раствора из скважины на первую ступень очистки. Следует отметить, что при выходе из устья скважины раствор подается в желоб и имеет только начальную скорость, заданную потоком. При этом практически горизонтальное расположение желоба приводит к замедлению потока и выпадению твердой фазы в осадок. Как результат – желоб на интервалах бурения под направление и кондуктор забивается шламом, что приводит к потерям бурового раствора и загрязнению близлежащей территории шламом и раствором. На рис. 1 представлена схема используемого желоба и серым цветом отмечены области, наиболее проблемные с точки зрения забивки шламом [2].

Предлагается изменить форму желоба, установить трап и перила для безопасного передвижения помощника бурильщика (см. рис. 2) и придать желобу некоторый уклон, при котором буровой раствор будет иметь высокую скорость течения, шлам в основном не будет успевать осаждаться, а выпавший осадок будет подвергаться эрозионному воздействию потока.

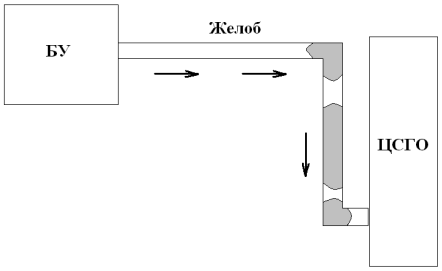


Рис. 1. Конструкция стандартного желоба

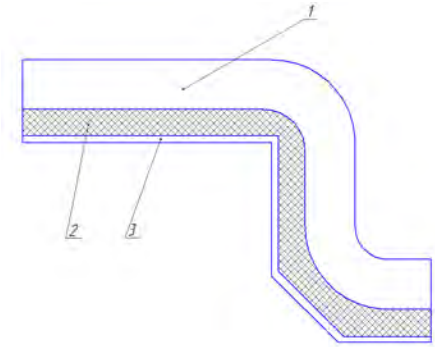


Рис. 2. Запроектированная схема желоба: 1 – желоб, 2 – трап, 3 – перила

Учитывая длину желоба от буровой до ЦСГО (10 м) и возможность варьирования наклона желоба до 1 м был произведен расчет возможных скоростей потока в зависимости от угла наклона по формуле Шези (1) для равномерного течения жидкости со свободной поверхностью:

$$V = \sqrt{\frac{8 \cdot g \cdot R \cdot \sin\theta}{\lambda}}, \qquad (1)$$

где θ – угол наклона желоба к горизонтали; λ – коэффициент гидравлических сопротивлений в кольцевом пространстве, для практических расчетов принимается равным 0,035; R – гидравлический радиус, м.

$$R = \frac{b \cdot h}{2h + b},$$

где h –высота уровня жидкости в желобе, м; b – ширина желоба, м.

По данным расчета получено, что максимальное значение уклона, которое можно придать желобу равно 6^o, при этом скорость потока может достигать 6,3 м/с, что помимо уменьшения вероятности выпадения в осадок шлама будет позволять оказывать жидкости эрозионное воздействие на уже выпавший в осадок шлам.

• Также проблемы при чистке емкостей вызывает способ сброса отходов из емкости в шламовый амбар. Для этого используется по два квадратных отверстия 200*200 мм с боковых сторон каждого мерника на уровне 100 мм от земли. Такое конструктивное решение приводит к трудностям при чистке емкостей [2].

Предлагается вместо отвестия монтировать на стандартных емкостях патрубок определенных размеров приваренный к емкости тангенсально и имеющий некоторый уклон для ускорения потока жидкости. Если рассматривать емкости со скругленными торцами и цилиндрическйо формы, то следует сделать вывод, что тангенсальное расположение наклонного патрубка также позволит ускорить процесс очистки емскостей и повысить его качество.

• При сооружении скважин с горизонтальным участком ствола большие затруднения вызывает чистка емкостей после окончания бурения хвостовика, так как используемый по технологии буровой раствор (полимерный) образует пленку из желеобразной высоковязкой массы толщиной в несколько сантиметров на всей внутренней поверхности мерника [2].

В данных условиях деструкцию полимерной пленки лучше всего производить химическим способом, то есть использованием какого-либо реагента для ее первичного разрушения. Известно, что хорошо разрушают полимеры – органические растворители. В результате информационного поиска были выбраны и проанализированы следующие вещества: уксусная кислота, лимонная кислота, аммиак, ацетон, щавелевая кислота, толуол и хлороформ. Анализ производился по безопасности использования, цене и доступности. В результате был сделан вывод, что в качестве очистного реагента для деструкции полимеров необходимо использовать лимонную кислоту, так как она является наиболее приемлемым вариантом по соотношению цена – безопасность использования. Следует отметить, что лимонная кислота уже применяется в малых количествах на буровых, как агент для очистки оборудования от бурового раствора.

По результатам проведенных исследований циркуляционных систем, используемых на месторождениях Западной Сибири, было получено несколько важных заключений. Во-первых, практика показывает, что весьма существенные недостатки в проектировании оборудования встречаются как у отечественных производителей, так и у зарубежных. Во-вторых, указанные выше недостатки постоянны во времени, то есть работа по данному направлению ведется слабо. В-третьих, сказывается отсутствие крупного производителя бурового оборудования на территории Западной Сибири, которое могло бы не только выпускать, но и проектировать свою продукцию по отдельным заказам. В-четвертых, возникает необходимость в проектировании циркуляционных систем не под конкретные возможности буровой установки, а для конкретных геолого-технических условий, что позволит снизить затраты на многих этапах бурения.

Список литературы

1. Епихин А.В. Проектирование циркуляционных систем для бурения нефтяных и газовых скважин – Труды XIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 – С. 508-510.
2. Епихин А.В. Анализ недостатков циркуляционной системы ООО «Rus Imperial Group» и предложения по их ликвидации – Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин», посвященной 55-летию кафедры «Бурения скважин» – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 – С. 126-129.

ОБ АНАЛИТИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ОБРАЗОВАННОГО ДИСКРЕТНЫМ ВИБРАЦИОННЫМ РЕЗАНИЕМ

Ермольчева Н.В.

Научный руководитель: Орлов Б.С., к.т.н., доцент

Саратовский государственный технический университет,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: nadyer@mail.ru

Технологический микрорельеф поверхностей деталей оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики деталей приборов и машин, в том числе на прирабатываемость, трение и износостойкость трущихся пар, плавность хода, герметичность, пылеудаляемость и другие [1], поэтому важной задачей в области качества поверхности является изыскание и исследование методов обработки деталей, обеспечивающих получение на их поверхностях регулярных микрорельефов. К таким методам относится дискретное вибрационное резание (ДВР), позволяющее получать частично регулярный микрорельеф (ЧРМР) на поверхностях деталей тел вращения в виде дискретно расположенных серповидных микролунок [2, 3].

Из рис. 1 следует, что, так как, инструмент (резец), закрепленный на поворотной части державки, смещен на величину – L относительно оси О ее качания, то за каждый период – T осциллирующего движения резца с амплитудой – e он часть времени не соприкасается с обрабатываемой поверхностью. Если $L=e$, то инструмент соприкасается с поверхностью полпериода; когда же $L>e$, то соприкосновение происходит в течение време-

ни менее *T/2*. При этом изменяются формы и размеры серповидных микролунок ЧРМР.

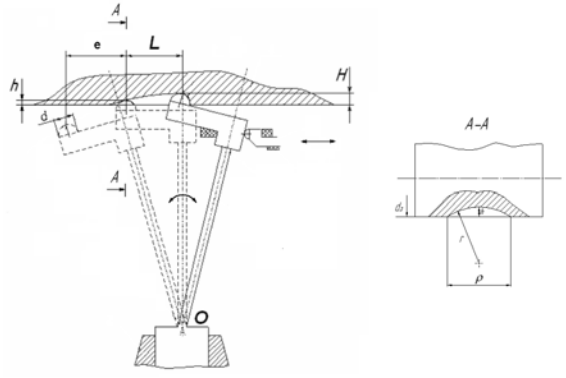


Рис. 1. Схема формирования микролунок

Ранее получены формулы для оценки стандартизированного параметра ЧРМР, каковым является относительная площадь поверхности микролунок F_k (ГОСТ 244773-81) [4]. Однако помимо расчета стандартизированных параметров ЧРМР поверхностей при решении задачи их оптимизации в ряде случаев возникает необходимость расчета и других параметров, в частности удельного объема микролунок и коэффициента объемного заполнения.

В поперечном сечении микролунка имеет форму сегмента (сечение А-А рис. 1), где *H* – максимальная глубина микролунки (стандартизированный параметр ЧРМР), устанавливаемая при наладке оборудования в крайнем правом положении осциллирующего резца.

За период осцилляции резца *T* глубина микролунки *h* изменяется от *0* до *H* и определяется по формуле:

$$h = H \cdot \sin\frac{2\pi}{T}\tau .$$

Объем микролунки представляет собой величину

$$V = \int_a^b S(x)dx ,$$

где $S(x)$ – площадь поперечного сечения; a, b – пределы интегрирования.

В нашем случае $a = 0$, $b = T/2$, $x = v \cdot \tau$, следовательно $dx = vd\tau$, где v – окружная скорость заготовки.

Так как площадь сечения (сегмента) имеет вид:

$$S(\tau) \cong \frac{2}{3} h \cdot \rho ,$$

где $\rho = 2\sqrt{2rh}$ – хорда сегмента, то объем микролунки

$$V = v \cdot \int_0^{T/2} \frac{4}{3} H \cdot \sin\frac{2\pi}{T}\tau \cdot \sqrt{2rH \cdot \sin\frac{2\pi}{T}\tau}\, d\tau = \\ = \frac{4}{3} vH \cdot \sqrt{2rH} \cdot \int_0^{T/2} \sin\frac{2\pi}{T}\tau \cdot \sqrt{\sin\frac{2\pi}{T}\tau}\, d\tau \quad . (1)$$

Привидение интеграла в уравнении (1) к стандартной форме, для которой имеются таблицы, довольно сложно, поэтому он может быть вычислен по формуле Симпсона, что в большинстве практических случаев допустимо.

В итоге получим:

$$V = \frac{4}{9} vTH \cdot \sqrt{2rH}$$

Выразив объем через $k = 2\pi e/(Tv)$, получим

$$V = \frac{8\pi e}{9k} H \cdot \sqrt{2rH} ,$$

При этом $k = 2ei / d_з$, следовательно, объем равен:

$$V = \frac{4\pi d_з}{9i} H \cdot \sqrt{2rH} ,$$

где $k = 2ei / d_з$; $i = n_{дв.х} / n_з$ – число циклов осцилляции резца за один оборот заготовки; $d_з$ – диаметр обрабатываемой поверхности; e – амплитуда осцилляции резца.

Обозначим через V_1 объем всех микролунок на поверхности цилиндра за один его оборот и через v_k – удельный объем микролунок, т. е. отношение объема микролунок к площади $A_{бок}$ – боковой поверхности идеального цилиндра:

$$v_k = \frac{V_1}{A_{бок}}$$

В нашем случае $V_1 = \frac{4\pi d_з}{9} H \cdot \sqrt{2rH}$, $A_{бок} = \pi \cdot d_з \cdot S_{пр}$,

где $S_{пр}$ – продольная подача.

Тогда

$$v_k = \frac{4\pi d_з H \cdot \sqrt{2rH}}{9\pi \cdot d_з \cdot S_{пр}} = \frac{4H \cdot \sqrt{2rH}}{9 \cdot S_{пр}} .$$

Коэффициент объемного заполнения рассчитывается по формуле:

$$K_v = \frac{V_{к.с.} - V_1}{V_{к.с.}}$$

где V_1 – объем всех микролунок на поверхности цилиндра, $V_{к.с.} = \pi \cdot H \cdot d_з \cdot S_{пр}$ – объем кольцевого слоя, ограниченного цилиндрической поверхностью.

Тогда

$$K_v = 1 - \frac{V_1}{V_{к.с.}} = 1 - \frac{4\pi H \cdot \sqrt{2rH} \cdot d_з}{9\pi \cdot H \cdot d_з \cdot S_{пр}} = 1 - \frac{4\sqrt{2rH}}{9S_{пр}} .$$

На основании полученных формул были построены характеристики нестандартных параметров микрорельефа.

Удельный объем масляной канавки характеризует степень обеспеченности поверхности смазкой, т. е. ее маслоемкость. А коэффициент объемного заполнения показывает величину соотношения объемов металла и пустот в поверхностном слое, что влияет на эксплуатационные свойства

поверхностей (износостойкость, теплопроводность и др.).

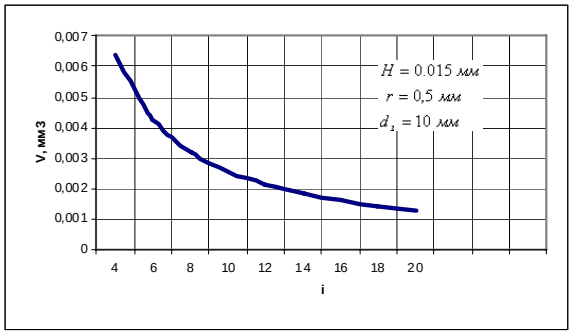


Рис. 2. Зависимость объема от числа циклов осцилляции резца

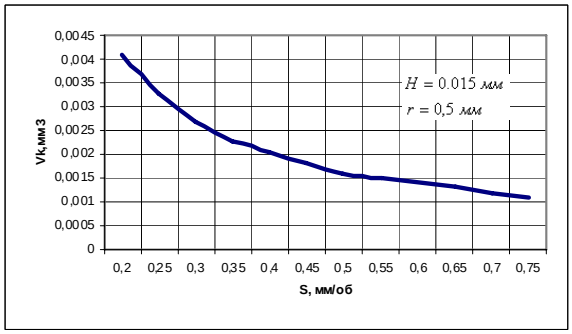


Рис. 3. Зависимость удельного объема от продольной подачи инструмента

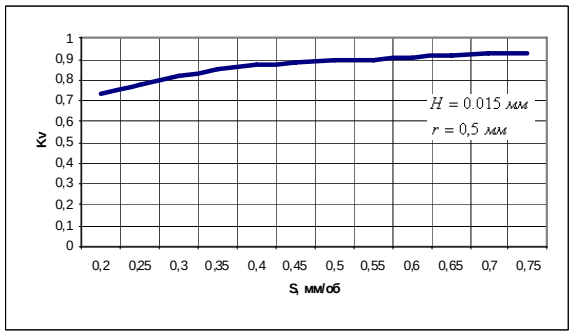


Рис. 4. Зависимость коэффициента объемного заполнения от продольной подачи инструмента

Полученные зависимости нестандартных параметров микрорельефа обеспечивают возможность решения задач технологического обеспечения дискретного вибрационного резания для образования поверхностей с требуемыми параметрами ЧРМР.

Список литературы

1. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплутационные свойства. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
2. А.с. 1232491 СССР. Способ образования регулярного микрорельефа / Б.С. Орлов, А.Д. Пустовойтов, В.И. Солдатов. – Б.И. №19, 1986.
3. Пат. РФ №71813. Устройство для вибрационной обработки поверхностей / Б.С. Орлов, В.И. Орлов, Д.В. Черепанов, А.А. Скрипкин. – Бюл. №32, 20.11.2008.
4. Орлов Б.С. Определение опорной поверхности при дискретном вибрационном резании / Б.С. Орлов, А.А. Скрипкин, Н.В. Ермольчева // Авиационная промышленность. – 2009. №3. – С. 28–30.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ МАСЕЛ СДМ

Ефимов М.В., Аникин Е.И.

Научный руководитель: Ларионов С.А., к.т.н., доцент

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия, г.Томск, пл.Соляная, 2
E-mail: maxi-mus@mail2000.ru

В настоящее время с трением связана одна из самых острых проблем современности – износ машин и механизмов. Современные машины эксплуатируются в сложных условиях, характеризуемых широким диапазоном режимов работы, скоростей, температур, давления, непрерывным ростом нагрузок и длительностью эксплуатации. Долговечность машин и механизмов в значительной степени зависит от качества смазочных масел и присадок к ним. В связи с этим правильная оценка служебных свойств масел в значительной степени определяет долговечность.

С целью контроля эксплуатационных свойств масел в лаборатории «Гидравлические и пневматические системы» Томского государственного архитектурно-строительного университета создан автоматизированный трибологический комплекс ТК-2 [1], позволяющий эмитировать условия испытаний максимально приближенные к реальным условиям работы трибосопряжений узлов и агрегатов строительных и дорожных машин. Предложенная методика оценки эксплуатационных свойств смазочных масел дорожных и строительных машин в режимах входного контроля и в процессе эксплуатации позволяет оценивать антифрикционные, противоизносные свойства и несущую способность масла за один цикл испытаний.

Установка (рис. 1) оформлена на стационарной раме и состоит из: машины трения, гидравлического привода главного движения, системы нагружения, системы циркуляции и терморегуляции, автоматизированной системы управления.

Машина трения 1 содержит рабочую камеру, узел трения которой выполнен по схеме «колодочки-ролик» с возможностью самоустановки.

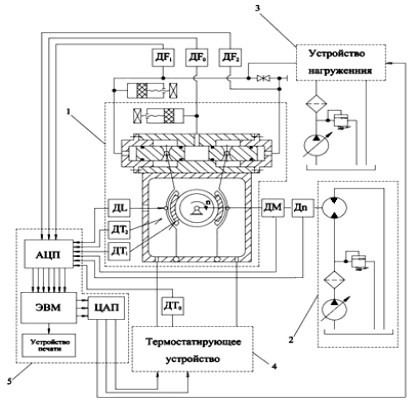


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизированного трибологического комплекса

Гидравлический привод 2 главного движения осуществляет вращение контртела при помощи регулируемого реверсивного гидромотора.

Нагружение испытуемого узла трения осуществляется гидравлической системой нагружения 3 [2]. Величина давления в полостях нагружения плунжерных пар регистрируется датчиками давления и определяет значение нормальной нагрузки F_N на испытуемый узел трения.

Система циркуляции и терморегуляции 4 испытуемой смазочной сферы обеспечивает стабильные условия проведения испытаний.

Момент трения в стационарном режиме измеряется датчиком момента, частота вращения контртела определяется тахогенератором, температура поверхности трения и испытуемой смазочной среды измеряются термопарами, величина износа определяется взвешиванием образцов–колодок, линейный износ контролируется микрокатором с ценой деления 0,001 мм.

Для управления ходом эксперимента и обработки полученных результатов была разработана специальная программа, которая позволяет в автоматическом режиме задавать закон нагружения и с использованием обратной связи отслеживать его выполнение, регистрировать и обрабатывать информацию в реальном масштабе времени, проводить компьютерный анализ результатов и представлять их в удобном для исследования виде.

Настоящая методика предназначена для оценки антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств конструкционных и смазочных материалов, а также присадок к ним (рис. 2).

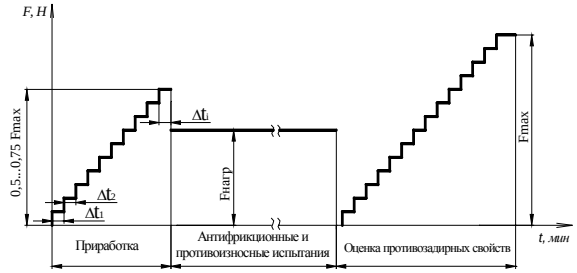


Рис. 2. Методика оценки смазочных свойств масел

Приработка образцов осуществляется при ступенчатой нагрузке, не превышающей 0,5…0,75 ΔF_{max}.

Противоизносные испытания проводятся при постоянной нагрузке F_N на образцы с регистрацией на аналитических весах массы пары трения в точках, соответствующих времени, при котором произошла приработка пары трения и времени, определяющего заданный путь трения.

Противозадирные свойства масла определяют путем ступенчатого нагружения образцов до схватывания.

При исследовании трибологических свойств масла можно получать следующую информацию: момент трения, давление нагружения, температуру в зоне контакта, температуру масла в рабочей камере.

После испытания образцы охлаждаются, обезжириваются и производят измерение износа весовым способом.

В настоящее время поставлена задача разработки методики входного и текущего эксплуатационного контроля гидравлических жидкостей вследствие появления на рынке некачественного масла. На рис. 3 приведены результаты анализа масла ВМГЗ с гидросистемы катка РАСКАТ ДУ-89, у которого после замены масла произошел отказ всех подсистем гидропривода.

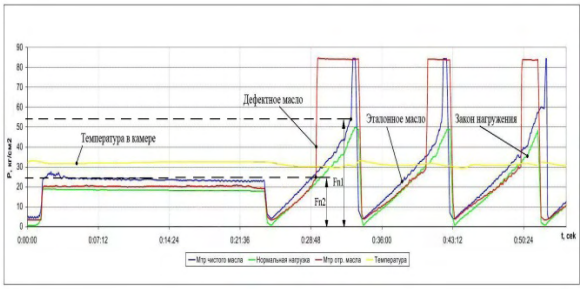


Рис. 3. График исследования изменения антифрикционных и противозадирных свойств чистого (эталонного) и отработанного гидравлического масла ВМГЗ

Возможными предпосылками этому могло служить несколько факторов. Основными являются: неудовлетворительное состояние гидравлического масла марки ВМГЗ, или неправильная эксплуатация гидропривода.

После отбора пробы теоретически непригодного масла ВМГЗ был проведен физико-химический анализ, который не дал значимых отклонений от приведенных показателей в нормативно-технической документации рабочих параметров масла.

В результате проведенного трибологического анализа были получены следующие трибопараметры, которые сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные трибологические параметры характеризующие качество масла

Диагностируемый параметр	Чистое (эталонное) масло ВМГЗ	Испытуемое масло ВМГЗ
Нагрузка схватывания образцов трения, Н/см^2	490	230
Суммарная потеря массы образцов, мг	10,4	15,1

Итогом проведенной работы установлено неудовлетворительное состояние рабочей жидкости гидросистемы катка РАСКАТ ДУ-85, которую необходимо заменить на новую.

Данная методика оценки трибологических свойств масел позволяет осуществить входной контроль смазочных масел и контролировать качество смазочных жидкостей при эксплуатации машин.

Список литературы

1. Ларионов С.А., Доблер В.И., Терехов А.Л. Автоматизированный комплекс для триботехнического контроля смазочных свойств рабочих жидкостей и исследования фрикционно-износных свойств конструкционных материалов // Патент на полезную модель 32602 РФ, МПК7 G01 N3/56 – №2003114684/20; заявлено 21.05.2003; опубл. 20.09.2003 // Изобретения, полезные модели. – 2003.
2. Ларионов С.А., Доблер В.И., Терехов А.Л. Устройство нагружения к машине трения // Патент на полезную модель 43974 РФ, МПК7 G01 N3/56 – №2004129805/22; заявлено 11.10.2004; опубл. 10.02.2005, Бюл. №4//Изобретения, полезные модели. – 2005. – № 4.
3. Трибологические методы испытания масел и присадок – М.: Машиностроение, 1983. – 184 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ИНТЕГРАЦИИ АБРАЗИВНОГО ШЛИФОВАНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ТВЧ

Зуб Н.П., Туревич С.В.

Научные руководители: Скиба В.Ю., к.т.н.

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: skeeba_vadim@mail.ru

Повышение конкурентоспособности и надежности выпускаемой продукции в современных рыночных условиях является важнейшей задачей, определяющей стратегию развития современного машиностроительного комплекса. В связи с этим необходимо совершенствование технологических процессов и оборудования, которые гарантируют получение стабильного качества продукции.

В технологическом процессе изготовления деталей машин операции поверхностно-термического упрочнения и финишной механической обработки традиционно разделены, т. е. выполняются на разных участках на различном технологическом оборудовании. При этом с учетом погрешностей, возникающих на предыдущей стадии технологического процесса, деформации материала при термическом упрочнении и погрешностей установки деталей, припуск на чистовую обработку приходится назначать достаточно большим (иногда до 40 %...50% заданной глубины упрочнения). Следовательно, на термической операции необходимо обеспечивать большую, чем заданную чертежом глубину упрочнения, а затем на финишной механической операции удалять наиболее эффективную часть поверхностного слоя. Это в целом приводит к повышенным затратам энергии и снижению производительности обработки на обеих операциях и зачастую к появлению дефектов в поверхностном слое, снижающих эксплуатационные свойства деталей.

Решение данной проблемы, по нашему мнению, можно осуществить за счет объединения операций финишной механической и поверхностной термической обработки на одном технологическом оборудовании [1].

Для интеграции процессов механической и поверхностной термической обработок была произведена модернизация плоскошлифовального станка модели 3Г71, заключающаяся в оснащении станочной системы дополнительным концентрированным источником энергии, в качестве которого использован выносной закалочный контур, реализующий высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭНТВЧ), характеризующийся высоким термическим коэффициентом полезного действия. В качестве источника энергии использовали генератор ВЧГ 6 – 60/0,44. Исследования проводились в диапазоне режимов обработки: удельная мощность источника $q_и = (1{,}5 – 4)\cdot 10^8$ Вт/м^2, скорость перемещения детали $V_д$= (50…100) мм/с, размер источника $R_и$ = 2 мм, зазор между инструментом (индуктором) и деталью составлял 0,1…0,2 мм. Процесс нагрева осуществлялся по глубинной схеме (толщина упрочненного слоя не превышает глубины проникновения тока в горячий металл) непрерывно-последовательным способом. Шлифование осуществлялось кругом марки 1-250×32×75-25А-25-СМ2-6-К-35-А-2-ГОСТ 2424-83 на следующих технологических режимах: скорость круга

$V_к$ = 35 м/с, продольная подача $V_д$ = 5…20 м/мин. Поскольку высота круга была больше ширины обрабатываемой заготовки (10 мм), мы использовали схему врезного шлифования. В этом случае, поперечная подача $S_п$ отсутствует, а подачу на глубину шлифования t осуществляют дискретно на каждый ход стола. Режимы выхаживания: продольная подача $V_д$ = 20 м/мин, поперечная подача $S_п$ = 0,2 мм/дв.ход. В качестве материала для исследований выбраны углеродистые стали 45, 60, У8 и У10. Это связано с широким применением данных сталей в промышленности при изготовлении деталей, подвергаемых поверхностной закалке.

Поскольку в рамках предлагаемой интегрированной обработки первый переход – предварительное (черновое) шлифование осуществляется незакаленного материала, который более устойчив к температурным воздействиям, то на данной операции возможно форсирование режимов резания. Как показали результаты экспериментальных исследований, во всем диапазоне изменения режимных параметров сетка микротрещин появлялась исключительно при обработке закаленных сталей. В случае шлифования незакаленных углеродистых сталей на жестких режимах не было зафиксировано нарушение сплошности материала. Следовательно, можно проводить обработку на более высоких режимах, при этом, регламентирующим фактором становится предельно допустимые значения параметров макро- и микрогеометрии поверхностного слоя. Предварительные расчеты показали, что во всем диапазоне изменения режимов резания при шлифовании производительность обработки незакаленной стали в 2…2,5 раза выше, чем при обработке закаленной.

Следующий переход – поверхностная закалка ВЭН ТВЧ – необходим для обеспечения требуемого физико-механического состояния поверхностного слоя детали.

Для нахождения рациональных режимов поверхностной закалки было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния материала с использованием конечно-элементных комплексов *SYSWELD* 2008 и *ANSYS* 9.0.

Анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований показал, что для исключения закалочных микротрещин и обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений сжатия на поверхности детали необходимо, чтобы величина переходного слоя составляла 25…33 % от глубины закаленного слоя [2, 3]. Наиболее важным является тот факт, что на данном переходе становится возможным значительно уменьшить технологическую глубину закалки (в 1,4…1,7 раза) за счет исключения дополнительного установа детали. Расчеты показывают, что использование предлагаемой интегрированной обработки данной детали по отношению к заводской технологии позволяет повысить производительность поверхностной закалки в 6,4 раза и снизить энергозатраты в 9,3 раза.

При традиционном технологическом процессе изготовления деталей черновое и чистовой шлифование происходит после поверхностно-термической операции, при этом наблюдается как локальное снижение поверхностной микротвердости, так и общего уровня твердости поверхности детали. Выхаживание, как показывают результаты экспериментальных данных, позволило только лишь выравнить поверхностную микротвердость, и достичь уровня, сравнимого со средним значением твердости упрочненного слоя, полученного на операции ВЭН ТВЧ.

В условиях предлагаемой комбинированной обработки финишное шлифование подразумевает съем припуска, возникшего за счет объемного расширения упрочненного слоя (не более 0,015 мм). Учитывая марку применяемого круга, процесса резания практически не будет происходить, а наличие выхаживания приведет к увеличению значения микротвердости. При этом следует отметить, что возрастание поверхностной твердости приводит и к увеличению уровня сжимающих напряжений в поверхностном слое материала [4]. Кроме того, результаты экспериментальных исследований показали, что операция выхаживания способствует увеличению контактно-усталостной прочности. Так, для образцов из стали 45, прошедших закалку ВЭН ТВЧ и последующее выхаживание, было зафиксировано повышение контактно-усталостной прочности на 16,4% по отношению к образцам, подвергнутых только лишь поверхностной закалки. При соответствующем сравнении для стали У8 наблюдалось увеличение КУ прочности на 10,2%.

В процессе выхаживания исследовалось и изменение геометрии поверхности детали. Анализ экспериментальных данных позволил определить рациональное время выхаживания ($\tau_{вых}$ = 20…30 с.), при котором наблюдается резкое уменьшение интенсивности падения шероховатости и волнистости поверхности.

В заключении необходимо отметить, что внедрение в производство технологии интегрированной обработки позволило на финишной стадии технологического процесса изготовления деталей по отношению к традиционной технологии: повысить производительность обработки в 2…4 раза; снизить энергозатраты на обработку в 4…6 раз; повысить микротвердость и уровень сжимающих напряжений в поверхностном слое материала на 10...15 %; исключить возможность появления брака при финишном шлифовании; уменьшить вспомогательное и подготовительно-заключительное время. Для эффективного использования нового технологического оборудования предложена комплексная методика назначения режимов обработки [5], рассматривающая данные операции технологического процесса не изолированно, а во взаимосвязи, и позволяющих гарантированно получать детали с заранее заданной точностью и физико-

механическими свойствами их рабочих поверхностей.

Список литературы

1. Иванцивский В.В. Интеграция поверхностно-термической и финишной механической операций на одном технологическом оборудовании / В.В. Иванцивский, В.Ю. Скиба, Н.П. Степанова // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 4-й Всероссийской науч.-практич. конф., 23 марта 2006 г. – Новосибирск, 2006. – С. 17–19.
2. Иванцивский В.В. Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ / В.В. Иванцивский, В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб // Научный вестник НГТУ – 2008. – № 3 (32). – С. 83–94.
3. Скиба В.Ю. Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты / В.Ю. Скиба // Обработка металлов – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.
4. Иванцивский В.В. Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок / В.В. Иванцивский, В.Ю. Скиба // Научный вестник НГТУ – 2006. – № 3 (24). – С. 187–192.
5. Иванцивский В.В. Методика назначения режимов обработки при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ / В.В. Иванцивский, В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Современные проблемы в технологии машиностроения: Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения профессора Муханова Ивана Ивановича: сборник трудов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 312 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Игнатьев Е.П.

Научный руководитель: Боровиков И.Ф., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, Россия, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: bif1986@mail.ru

Геометрическое моделирование поверхностей машиностроительных изделий (различные зализы, воздухозаборники, лонжероны, лопатки турбин, эквидистантные поверхности) сводится к конструированию кривых, сопрягаемых по определенному порядку гладкости. Существующие способы [1, 2] не дают возможности получения кривых, отвечающих заданным требованиям. Поэтому задача разработки достаточно простого и универсального метода конструирования кривых остается актуальной.

Для достижения поставленной цели был разработан новый способ задания квадратичных инволюций, аппарат которых в отличие от существующих состоит из пучков окружностей, являющихся слабоинвариантными в преобразованиях [3, 4]. Поясним суть этих преобразований.

Пусть на плоскости задан эллиптический пучок окружностей двумя базисными точками $F_1(0, a), F_2(0, -a)$ (рис. 1).

Тогда произвольная точка $A(x_A, y_A)$ выделяет из пучка единственную окружность k. Диаметрально противоположную точку $A'(x'_A, y'_A)$ будем считать соответственной точке A. Таким образом, на плоскости индуцируется нелинейное преобразование, расслаивающееся в пучке окружностей на центральные симметрии. Нетрудно показать, что операторы прямого преобразования имеют вид:

$$x' = \frac{y^2 - a^2}{x},$$
$$y' = -y.$$

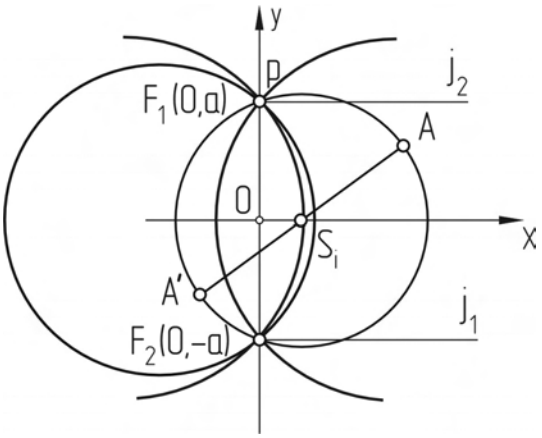


Рис. 1. Задание инволюции с помощью эллиптического пучка окружностей

Таким образом, получаем квадратичную инволюцию с пучком слабоинвариантных окружностей. Точки F_1, F_2 являются простыми F-точками. Им соответствуют p-прямые, описываемые уравнениями: $y = a$, $y = -a$. Предельной прямой q является ось Oy. Если в качестве прообраза взять окружность, имеющую уравнение $(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 = R^2$, то ее образом будет являться кривая четвертого порядка, уравнение которой имеет вид:

$$y^4 + y^2x^2 - 2x_0xy^2 + 2y_0yx^2 - 2a^2y^2 + y_0^2x^2 -$$
$$- R^2x^2 + x_0^2x^2 + 2a^2x_0x + a^4 = 0$$

или в однородной форме:

$$x_2^4 + x_1^2 x_2^2 - 2x_0 x_1 x_2^2 x_3 + 2y_0 x_2 x_1^2 x_3 - 2a^2 x_2^2 x_3^2 -$$
$$- R^2 x_1^2 x_3^2 + x_0^2 x_1^2 x_3^2 + +2a^2 x_0 x_1 x_3^3 + a^4 x_3^4 = 0.$$

Координаты циклических точек $I_1(1, i, 0)$, $I(1, -i, 0)$ удовлетворяют этому уравнению, следовательно, полученная кривая является циркулярной. Такие кривые наиболее полно удовлетворяют требованиям аэро-гидродинамики. Их форма зависит от положения образа относительно фундаментальных точек, принципиальных кривых и предельной прямой. В случае параболического пучка окружностей, когда $a = 0$, операторы преобразования имеют вид:

$$x' = \frac{y^2}{x},$$
$$y' = -y$$

Все гомолоиды в этом случае в точке $F_1 \equiv F_2 \equiv O$ касаются оси Oy. Обе принципиальные p-прямые совпадают с осью Ox. Образами окружностей являются кривые четвертого порядка. Они описываются уравнением:

$$y^4 + y^2 x^2 - 2x_0 xy^2 + 2y_0 yx^2 + y_0^2 x^2 -$$
$$- R^2 x^2 + x_0^2 x^2 = 0$$

Для гиперболического пучка – $a = mi$, где m - абсцисса центра нулевой окружности. Операторы преобразования для рассматриваемого случая:

$$x' = \frac{y^2 + m^2}{x},$$
$$y' = -y.$$

Прообразом окружности является кривая четвертого порядка:

$$y^4 + y^2 x^2 - 2x_0 xy^2 + 2y_0 yx^2 + 2m^2 y +$$
$$+ (y_0^2 - R^2 + x_0^2) x^2 + 2m^2 x_0 x - m^4 = 0.$$

Предлагаемый подход позволяет конструировать кривые в широком диапазоне изменения форм и параметров (рис. 2).

Уже на стадии задания прообраза известна форма конструируемой кривой. Так, например, кратность точек кривой в фундаментальных F-точках определяется количеством точек пересечения прообраза с p-прямыми, наличие несобственных точек – расположением прообраза относительно предельной прямой. Для того чтобы конструируемая кривая была замкнутой, необходимо, чтобы прообраз не пересекал предельную прямую.

Использовать предлагаемый способ в практике реального конструирования сложных технических форм без применения вычислительной техники достаточно трудно, так как при выборе кривой, отвечающей наперед заданным требованиям, приходится рассматривать большое количество вариантов. Поэтому на основе предлагаемого способа в среде Macromedia Flash MX Professional 2004 разработана программа, которая позволяет:

- выбирать аппарат преобразования исходя из исходных условий;
- выбирать прообраз;
- получать изображение конструируемой кривой и ее уравнение.

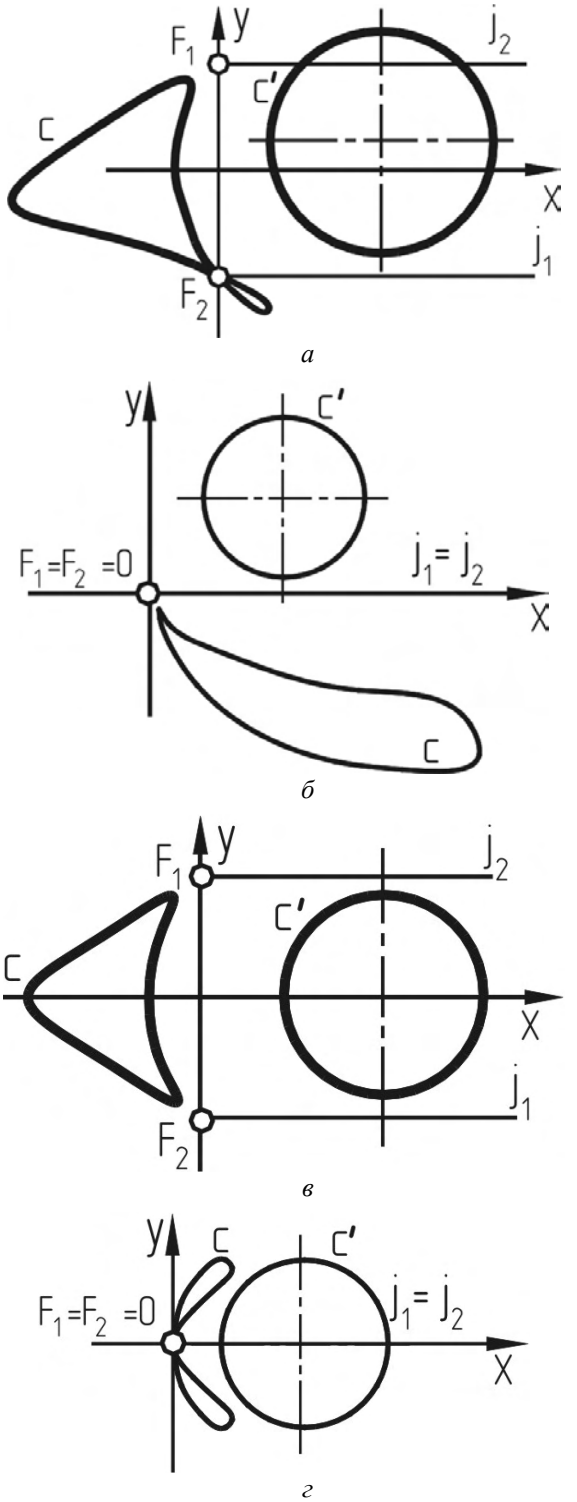


Рис. 2. Примеры кривых, получаемых в преобразованиях

Предлагаемый способ и компьютерная программа используются в учебном процессе кафедры механики и инженерной графики ЮТИ ТПУ при изучении учебной дисциплины «Начертатель-

ная геометрия. Инженерная графика». Кроме того, они могут быть использованы в практике реального конструирования технических кривых и поверхностей.

Список литературы

1. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (математическое моделирование на основе нелинейных преобразований). – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Sturm R. Die Lehre von den geometrischen Verwandtschaften. Band 4. Leipzig und Berlin: Druck und Verlag von B.G. Teubner, 1908. – 484 s.
3. Игнатьев Е.П., Ильюшкин П.В. Конструирование технических кривых на основе нецентральных квадратичных преобразований плоскости // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Труды X научно-практической конференции студентов и учащейся молодежи, Юрга, 23–25 апреля 2006 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 54–55.
4. Игнатьев Е.П. Нецентральные нелинейные преобразования плоскости, индуцируемые пучками окружностей, и их использование в получении технических кривых // Наука и технологии: шаг в будущее: Труды V научно-практической конференции, Прага 27.02–05.03.2009 г. – Прага: Publishing House “Education and Science” s.r.o, 2009. – 23–25.

ПЕРЕДОВЫЕ РЕШЕНИЯ ТОМСКИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Ильин А.С., Панкратов Э.Н, Ан И-Кан.

Научный руководитель: Ан И-Кан, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 64821@sibmail.com

На территории Российской Федерации реализуются масштабные инфраструктурные проекты в нефтегазовой отрасли. Правительство постоянно требует от естественных монополий повышения доли российской промышленной продукции в подобных проектах. В условиях кризиса это должно стать серьезным инвестиционным импульсом для машиностроения. Но зачастую российским машиностроителям трудно конкурировать с зарубежными производителями по ценовым и качественным характеристикам предлагаемой продукции. Одним из качественно новых отечественных товаров для нефтегазового рынка является перемешиватель бурового раствора производства компании SIMACO, которому нет аналогов в мире.

Недостатком традиционной конструкции перемешивателей бурового раствора является уплотнение выходного вала редуктора манжетой. Буровой раствор по своему составу является достаточно агрессивной и абразивной субстанцией, которая приводит к преждевременному износу манжеты. Через изношенную манжету из редуктора вытекает смазочная жидкость, а внутрь попадают посторонние частицы, что влечет за собой ряд проблем для эксплуатационников: во-первых, нужно постоянно контролировать уровень смазочной жидкости, во-вторых, вовремя менять износившиеся манжеты. При круглосуточном процессе бурения решение обеих задач требует временных и финансовых ресурсов. Помимо всего отечественные производители комплектуют пермешиватели бурового раствора плосколопастной мешалкой, конструкция которой продиктована лишь технологическими возможностями производителя и не учитывает физических законов движения жидкости. Поэтому плосколопастные мешалки не позволяют создавать эффективного перемешивающего потока раствора.

Предлагаемая нами конструкция перемешивателя бурового раствора отличается от отечественных и зарубежных аналогов следующими конструктивными особенностями:

• редуктор перемешивателя решен на базе волновой передачи зацеплением с промежуточными телами и не имеет выходного вала, уплотняемого манжетой;

• смазка деталей редуктора выполняется посредством импеллера;

• разработан уникальный профиль крыла мешалки.

Примененные конструктивные решения запатентованы [7].

На рис. 1 схематично представлен перемешиватель бурового раствора производства компании SIMACO. Перемешиватель состоит из четырех основных частей: электродвигатель; редуктор; рама; устройство для перемешивания (мешалка).

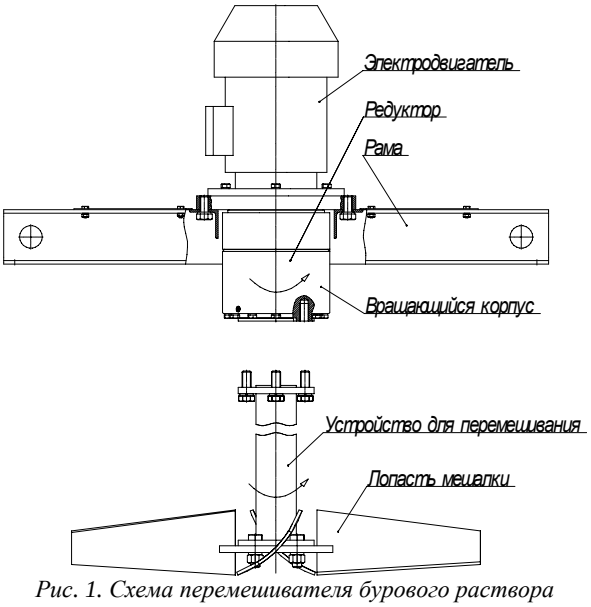


Рис. 1. Схема перемешивателя бурового раствора

Конструкция редуктора перемешивателя бурового раствора прорабатывалась на различных типах передач [1]. Оптимальной конструкции удалось достичь на базе волновой передачи зацеплением с промежуточными телами. Исследования данного типа передач проводились в работах [2, 3, 4, 5, 6]. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что волновые передачи с промежуточными телами качения превосходят другие типы передач по массогабаритным показателям. Превосходство обусловливается тем, что нагрузка лимитируется напряжениями смятия, а в зацеплении одновременно может находиться до 50% от общего количества промежуточных тел качения. Диапазон передаточных чисел одноступенчатого волнового редуктора от 9 до 60. Поскольку механизм такого редуктора является дифференциальным, то есть имеет два выхода при одном входе, то возможны различные схемы компоновки редукторов.

На рис. 2 представлен одноступенчатый волновой редуктор перемешивтаеля бурового раствора зацеплением с промежуточными телами, выходным звеном которого является профильный венец.

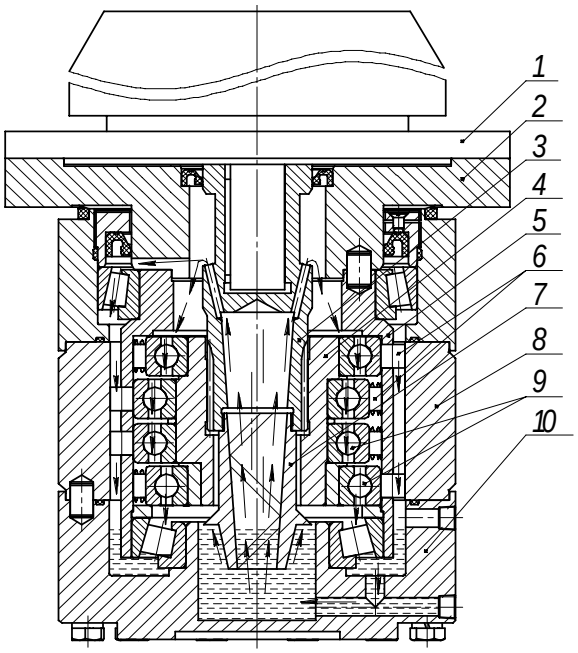


Рис. 2. Принципиальная схема редуктора перемешивателя бурового раствора

Вращение от вала электродвигателя 1 (см. рис. 2) через муфту 3, передается на генератор волн 4. Подшипники 9 установлены на генераторе со взаимно противоположным смещением осей (эксцентриситетом) относительно оси вращения генератора. Подшипники совершают орбитальные движения с радиусами, равными эксцентриситету. Орбитальные движения наружных колец подшипников сообщают радиальные перемещения промежуточным телам качения 6. Промежуточные тела качения, взаимодействуя с неподвижным сепаратором 5, приводят во вращение профильный венец 8. Профильный венец жестко связан с выходным фланцем 10, представляющем собой резервуар для смазочной жидкости. В резервуар со смазочной жидкостью погружен импеллер 7, имеющий жесткую связь с муфтой 3. Посредством внутреннего конуса, вращающегося с частотой электродвигателя, импеллер создает циркуляционные потоки смазочной жидкости внутри редуктора, обеспечивая тем самым дозированную смазку его деталей. Регулировка циркуляционного потока осуществляется углом наклона конуса импеллера и размером жиклеров.

Рабочим органом перемешивателя бурового раствора является мешалка, имеющая уникальный профиль крыла (см. рис. 1). При движении крыла в потоке раствора возникает лобовое сопротивление, ориентированное по направлению движения крыла в растворе, и осевой поток, позволяющий произвести перемешивание бурового раствора в емкости. Возникающий тороидальный вихрь переноса жидкости из области, лежащей ниже плоскости вращения крыльев, в верхнюю область, создает мощную подъемную силу осевого потока. Значения угла атаки позволяют минимизировать лобовую нагрузку от набегающего потока, и как следствие уменьшить крутящий момент создаваемый мешалкой. Наличие стреловидности крыла позволяет улучшить обтекание потоком раствора периферийной части мешалки. Разработанный профиль крыла мешалки позволил реализовать высокоэффективное перемешивание буровых растворов. Эффективность перемешивания выражается в снижении энергопотребления до 40% и увеличении осевого потока до 25% по сравнению с перемешивателем, имеющим плосколопастную мешалку.

Уникальные конструктивные решения, примененные в перемешивателе бурового раствора производства компании SIMACO, позволили существенно улучшить его потребительские свойства по сравнению с существующими мировыми аналогами.

Список литературы

1. Ан И-Кан, Беляев А.Е. Синтез планетарных передач применительно к роторным гидромашинам. – Новоуральск: НПИ МИФИ, 2001. – С. 92.
2. Беляев А.Е., Брюховецкий В.П. Исследование волновых передач с шариковыми промежуточными телами. – В кн. Доклады на 5-й научно-технологической конференции ТГУ. – Томск: Изд-во ТГУ, 1974. – С. 73–78.
3. Брюховецкий В.П. Исследование планетарной эксцентриковой передачи с шариками в зацеплении. Дис. канд. техн. наук. – Томск, ТПИ, 1979. – С. 15–72.
4. Ефременков Е.А. Исследование изменения скоростей скольжения в новой передаче с промежуточными телами качения. Изд. ТГУ Сб. Аппаратно-программные средства автоматизации технологический процессов. – Томск, 2001. – С. 194–201.
5. Ефременков Е.А., Родионова У.В. Оптимизация проектирования передач с ПТК. Городская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых научных сотрудников по приборостроению. – Томск, 2001. – С. 66.
6. Калганов А.Ф., Беляев А.Е., Гиндин Э.Н. Разработка методик расчета передач редуктора повышенной точности и долговечности (Заключительный отчет). Х/Д № 4-17/88.
7. Панкратов Э.Н., Карасев Р.Н., Шумский В.В., Ильин А.С. Моторредуктор с погружным распылителем. Патент №87927. Опубл. 27.10.2009. Бюл. №30.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ЦИКЛОН-5

Карышев А.С., Лавров А.С.

Научный руководитель: Платонов В.В., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет,
655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: akaice@ya.ru

Робот имеет относительно широкие технологические возможности, которые определяют область его применения. Являясь по своему основному назначению средством для автоматизации листовой штамповки в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства, он с успехом применяется при автоматизации технологических операций в таких видах производства, как горячая объемная штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах, литье под давлением, механообработка на операциях загрузки и разгрузки. Он также успешно применяется для межстаночного транспортирования и межоперационного складирования в механических, заготовительных и других цехах.

Робот «Циклон 5» имеет в своем составе манипулятор «Циклон 5» и устройство программного управления модели УЦМ-30, соединенные между собой электрическими кабелями.

Устройство УЦМ-30 обеспечивает функционирование исполнительной части ПР-манипулятора, основными узлами которого являются механизмы выдвижения-втягивания, подъема и поворота захватных устройств (захватов), а также пневмосистема, обеспечивающая подготовку и распределение сжатого воздуха в соответствующие полости приводных цилиндров. На рис. 1 представлен общий вид робота. Рабочая зона промышленного робота представлена на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид робота

Функциональная схема работы промышленного робота «Циклон-5» следующая:

• при поступлении команды с УЦМ-30 коммутируются электромагниты соответствующих воздухораспределителей. Воздухораспределители открывают доступ воздуха в пневмоцилиндры конкретных механизмов привода и руки, совершают определенное движение. При приходе руки в заданное положение срабатывают конечные выключатели, контролирующие выполнение этого движения и дают сигнал на начало следующего движения (или суммы их).

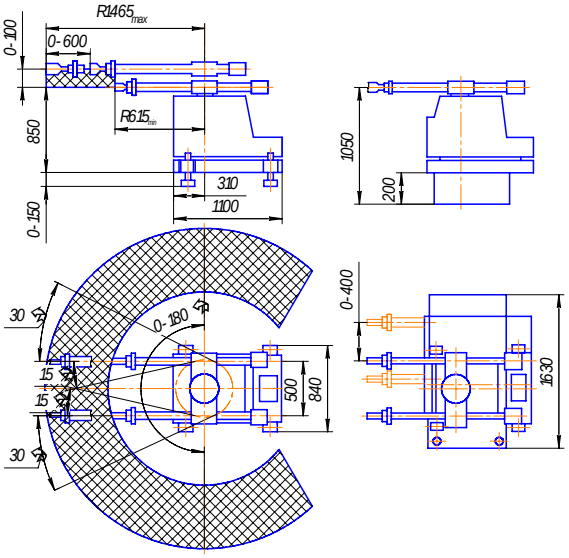


Рис. 2. Размеры и рабочая зона промышленного робота

Модернизация промышленного робота заключается в замене устаревшей системы циклового программного управления ЦМ-30 на цикловое управление от персонального компьютера. Это кроме удобства интерфейса (возможность вывода технологической информации на дисплей) позволяет диагностировать, тестировать и активно контролировать циклические операции. Также возможна сетевая поддержка хода техпроцесса.

Система управления на базе персонального компьютера

Универсальная система управления технологическим оборудованием на базе IBM – совместимого компьютера предназначена для управления промышленным роботом «Циклон-5» вместо устаревшего устройства циклового программного управления «УЦМ-30».

Конструктивно система представляет собой персональный компьютер со специальной интерфейсной платой в ISA-слоте, с помощью которой

посредством дискретных входов/выходов связан с объектом управления. Модуль дискретных входов/выходов без изменений взят от «УЦМ-30» и предназначен:

• для ввода состояния концевых выключателей блокировок, путевых датчиков технологического процесса и дополнительного оборудования в удаленное от него устройство.

• управления электромагнитами, электромагнитными реле, и другими исполнительными устройствами по командам удаленного устройства.

Модуль обеспечивает гальваническую развязку с помощью транзисторных оптопар входов и выходов от управляющего компьютера. В качестве коммутирующего элемента применяется тиристор, его запирание осуществляется при нулевом значении питающего напряжения, которое должно быть пульсирующим (выпрямленным и не сглаженным конденсатором).

Для управления объектом используются адреса платы прототипа от 300h до 3FFh. в адресном пространстве портов ввода вывода IBM – совместимого компьютера.

В системе программного управления предусмотрены пять режимов работы наладочный, программирования, шаговый, автоматический однократный и автоматический многократный.

Система программного управления обеспечивает следующие функции:

• формирование трех временных интервалов для ускоренного прохода манипулятором точек без позиционирования в диапазоне 0,2 – 1,8 с (с дискретностью 0,2 с);

• формирование временного интервала для выполнения манипулятором движений, не контролируемых датчиками положений (зажим-разжим захвата и поворот захвата вокруг продольной оси механизма выдвижения-втягивания в диапазоне 0,2–1,8 с (с дискретностью 0,2 с);

• задержку перехода к отработке следующего кадра программы на время от 2 до 18с (с дискретностью 2с);

• индикацию на экране номера кадра, цикла рабочих процессов, режима работы, числа операций установки-снятия;

• постоянная индикация на экране всех входных сигналов с датчиков и путевых концевых переключателей;

• индикация состояния системы при работе (в виде текстовой строки);

• фиксация аварийных ситуаций с указанием причин;

• тестирование системы в виде контроля входов и выходов, а также портов управления в начале работы;

• настройка и индикация технологических таймеров;

• оперативное изменение настройки таймера без остановки ядра программного обеспечения;

• контроль времени технологического цикла и отдельных его этапов;

• постоянный учет выполненных работ в количественном и весовом измерениях с возможностью их периодической автоматической передачи по последовательному порту компьютера по запросу;

• запись и чтение с диска всех настроек и данных;

• автоматическая запись на диск состояния машины и данных перед выходом из программы и чтение с диска последних настроек и данных во время запуска программы;

• индикация на экране контроля работы программы и экстренное отключение машины в случае сбоя или зависания программы управления оборудованием;

• в зависимости от технологических требований может быть расширено количество входных и выходных сигналов, каналов управления, записей и чтений с диска, технологических циклов и таймеров т. д.

Само ядро программы работает с периодом 0,18 сек. по прерыванию системного таймера 08. Все каналы ввода, задачи и необходимые действия по выводу информации осуществляются восемнадцать раз в секунду. Если данная частота недостаточная для эффективного управления данным объектом, то возможно перепрограммирование системного таймера. Контроль работы программы выводится на экран в виде синфазных колебаний и одновременно на выходной порт компьютера, а далее аппаратно контролируется машиной. В случае зависания программы экстренно отключается насос и блокируется работа всей машины. В программе предусмотрена быстрая оперативная подстройка таймера, без остановки работы ядра программы. Если необходимо, то можно написать свою подпрограмму логики работы машины и подключить ее к работе общей программе. Программа по заданию оператора создает на диске по каждому конкретному изделию форматированной файл длиной 125 байт в директории, где находится сама или сама автоматически по выходу из программы сохраняет на диске последние настройки таймеров, расходов, давлений рабочих процессов. По запуску программы автоматически считываются с диска последние настройки.

Список литературы

1. Устройство циклового программного управления УЦМ-30: паспорт. – М.: Внешторгиздат, 1983. – 27 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА ВХОДНОМ ВАЛУ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ИНЕРЦИИ ЗВЕНЬЕВ

Кобза Е.Е., Ефременков Е.А.

Научный руководитель: Ефременков Е.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mecheng@mail.ru

Передачи с промежуточными телами качения (ПТК) все шире применяются в современном машиностроении. Однако, передачи с ПТК изучены не полностью и исследования данных передач необходимо проводить более подробно. В частности в силовом расчете передач с ПТК определялись усилия в зацеплении в зависимости только от крутящего момента на выходном валу. Анализ ряда работ по передачам ПТК [1–5], показал, что силовой расчет данных передач в основном проводится для определения усилий в зацеплении и реакции подшипника генератора при равновесном движении. В данных работах не учитываются силы инерции, так как считается, что редукторы с ПТК малоинерционные. В то же время, в конструкциях редукторов различаются размеры звеньев участвующих в передаче движения: встречаются редукторы с достаточно массивными телами качения и сателлитом. Учет сил инерции позволит находить истинные усилия и реакции в кинематических парах во время пуска машины и в процессе ее работы. Кроме того, учет сил инерции в зацепление редуктора с ПТК позволит подобрать электродвигатель по пусковому моменту, что позволит в дальнейшем более обоснованно подбирать двигатель для механизмов с ПТК, работающих при низких температурах.

Целью данной работы является определение пускового момента на якоре двигателя с учетом сил инерции, возникающих в зацеплении редуктора с ПТК и свободной обоймой.

Рассмотрим одноступенчатую схему передачи с разгруженным сепаратором (рис. 1) [4]. Передача состоит из корпуса 5, в котором установлено неподвижное центральное колесо (венец) 3, промежуточных тел качения 2, находящихся в пазах обоймы (сепаратора) 4, кулачка 1, соединенного с выходным валом 6, генератора Г, на подшипниках 7 которого установлен кулачок 1. Причем кулачок 1 и венец 3 имеют профили сложной формы: эпи- и гипотрохоидный. Выходным звеном в данном случае является кулачок 1.

Искомый пусковой момент якоря электродвигателя можно рассмотреть как динамический движущий момент якоря [6]:

$$M_{пуск} = M_{дв}^{дин}$$

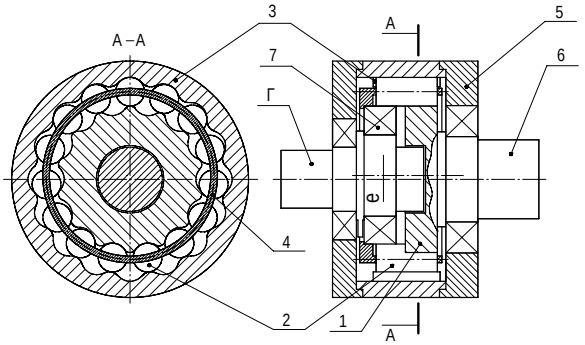


Рис. 1. Схема одноступенчатой передачи с разгруженным сепаратором

Искомый пусковой момент найдем из динамического закона передачи моментов [6]. В расчете принимается, что сепаратор 4 и тела качения 2 движутся как единое целое и совершают вращательное движение, не учитывается поступательное движение тел качения в пазах сепаратора. Также принимается генератор Г и подшипник 7 генератора за одно звено. Динамический закон передачи моментов запишется так:

$$M_{пуск} = \frac{1}{\eta}\left[\frac{M_{п.с.}}{i_{Г-1}} + \left| M_{Г}^{J} + \frac{M_{2}^{J}}{i_{Г-4}} + \frac{M_{4}^{J}}{i_{Г-4}} + \frac{M_{1}^{J}}{i_{Г-1}} + \frac{M_{п.с.}^{J}}{i_{Г-1}} \right|\right]$$

где M_i^J – моменты сил инерции от отдельных масс; $M_{п.с.}^J$ – момент сил инерции на выходном валу от нагрузки; η – КПД передачи; i – передаточное отношение.

Так как в данном случае рассматривается механизм с постоянным передаточным отношением, то в пусковой период, когда возрастает кинетическая энергия всей системы, движение всех частей будет ускоренным, а поэтому все инерционные моменты будут направлены против угловых скоростей соответствующих звеньев, т. е. будут являться в машине сопротивлением и должны быть введены под знаком суммы со знаком «–», однако, благодаря абсолютному значению этой суммы, они могут быть введены, как это и сделано, в выражение закона моментов со знаком «+» [6]. Момент $M_{Г}^{J}$ преодолевается моментом якоря электродвигателя без участия передачи, преодоление этого момента не будет связано с потерями на трение. Таким образом, при определении момента $M_{Г}^{J}$ КПД приравнивается к 1, а сам момент выносится за скобки отдельным слагаемым:

$$M_{пуск} = M_{Г}^{J} + \frac{1}{\eta}\left[\frac{M_{п.с.}}{i_{Г-1}} + \frac{M_{2}^{J}}{i_{Г-4}} + \frac{M_{4}^{J}}{i_{Г-4}} + \frac{M_{1}^{J}}{i_{Г-1}} + \frac{M_{п.с.}^{J}}{i_{Г-1}}\right]$$

Моменты от сил инерции определяется по формуле [6]:

$$M^{J} = J\varepsilon$$

Тогда для каждого звена запишем:

$$M_{Г}^{J} = J_{Г}\varepsilon_{Г} = \left(J_{Г}^{O} + J_{7}^{O} + J_{1}^{O}\right)\varepsilon_{Г},$$

$$M_{2}^{J} = J_{2}\varepsilon_{2},$$

$$M_{4}^{J} = J_{4}\varepsilon_{2},$$

$$M_{1}^{J} = J_{1}\varepsilon_{1},$$

$$M_{п.с.}^{J} = J_{п.с.}\varepsilon_{1}.$$

Надстрочный знак «О» при определении момента инерции $M_{Г}^{J}$ обозначает, что силы инерции рассматриваются относительно центральной оси вращения передачи, которая соосна оси двигателя.

Угловые скорости и ускорения зыеньев передачи определяются по следующим зависимостям:

$$\omega_{i} = \frac{\omega_{Г}}{i_{Г-i}},$$

$$\varepsilon_{i} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{i_{Г-i}}\frac{d\omega_{Г}}{dt} = \frac{\varepsilon_{Г}}{i_{Г-i}}.$$

Таким образом, подставив в уравнение пускового момента выражение моментов инерции каждого звена и угловых ускорений звеньев, после преобразования получим:

$$M_{пуск} = \frac{M_{п.с.}}{\eta \cdot i_{Г-1}} + \varepsilon_{Г}\left[J_{Г} + \frac{J_{2} + J_{4}}{\eta \cdot i_{Г-4}^{2}} + \frac{J_{1} + J_{п.с.}}{\eta \cdot i_{Г-1}^{2}}\right].$$

Здесь первое слагаемое $\frac{M_{п.с.}}{\eta \cdot i_{Г-1}}$ – статический момент, приведенный к валу двигателя $M_{ст}$;

$\varepsilon_{Г}\left[J_{Г} + \frac{J_{2} + J_{4}}{\eta \cdot i_{Г-4}^{2}} + \frac{J_{1} + J_{п.с.}}{\eta \cdot i_{Г-1}^{2}}\right]$ – суммарный инерционный момент, приведенный к валу двигателя $M_{ин}$.

Таким образом, при проектировании машины, подбор электродвигателя необходимо осуществляться по пусковому моменту с учетом перегрузки, возникающей от инерции звеньев передачи с ПТК и свободной обоймой.

При установившемся равномерном движении $\varepsilon_{Г} = 0$, следовательно, пусковой динамический момент двигателя переходит в статический.

Полученные моменты инерции звеньев передачи с ПТК могут быть использованы для определения усилий в зацеплении. В дальнейшем необходимо определить силы инерции тел качения и учесть их влияние на усилия в зацеплении при неустановившемся движении. Тела качения совершают движения по эпициклической траектории, таким образом, при неустановившемся движении они имеют касательные и центростремительные ускорения, изменяющиеся по модулю и направлению. Для определения этих ускорений необходимо продифференцировать уравнения траектории, а также определить радиусы кривизны профиля.

Список литературы

1. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи – Л.: Машиностроение, 1966. – 307с.
2. Шанников В.М. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением – Л.: Машгиз, 1948. – 87 с.
3. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности – Томск, 1986. – 60 с.
4. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: Дис. … канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
5. Ершов Ю.В. Анализ и синтез планетарных передач K-H-V с промежуточными телами качения: Дис. … канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2007. – 242 с.
6. Колчин Н.И., Мовнин М.С. Теория механизмов и машин – Л.: Судпромгиз, 1963. – 616 с.

УСТАНОВКА ГИДРОМОНИТОРНО-ЭРОЗИОННОГО БУРЕНИЯ

Ковалев А.В.

Научный руководитель: Самохвалов М.А., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: optimist@sibmail.com

Увеличение эффективности разрушения горных пород при бурении скважин с применением современных методов ограничиваются сравнительно низкой износоустойчивостью породоразрушающего инструмента (ПРИ) и низкой мощностью, подводимой к забою скважины. Это в наибольшей степени относится к бурению в твёрдых и крепких по промысловой классификации горных пород, поскольку в мягких и средних породах данная проблема успешно решена. В связи с этим становится актуальным поиск и создание такого способа бурения, производительность которого была бы мало зависима от износоустойчивости ПРИ, как у традиционного механического вращательного способа.

Разрушение горных пород возможно с помощью гидромониторно-эрозионного способа, который позволит значительно повысить эффектив-

ность разрушения и избавиться от недостатков механического способа. В данном случае гидравлическая мощность может использоваться более эффективно, если она будет применяться для ускорения высокоабразивных частиц через гидромониторное долото, что позволит использовать абразивное действие этих частиц в качестве первичного механизма разрушения породы при бурении.

На основе выше изложенного кафедрой бурения скважин Томского политехнического университета была выдвинута идея гидромониторно-эрозионного способа бурения с использованием специального гидромониторного долота эжекционного типа [1]. В основу разработки был положен принцип разрушения горной породы за счёт непрерывной циркуляции абразивного агента на забое, осуществляемой при помощи струйного насоса-эжектора, приводимого в действие потоком промывочной жидкости подводимой к насосу. Внешний вид насоса разрабатываемого долота представлен на рис. 1. Данный насос состоит из корпуса с выполненными в нём впускными окнами, подводящим отверстием с резьбой G ½, в которое вкручивается переводник от напорного бурового рукава и выходного отверстия, через которое двухфазная жидкость истекает в направлении забоя. В общем виде насадка состоит из следующих частей: корпуса 1, камеры подвода рабочего агента 2, латунного жиклёра 3 с калиброванным отверстием, сопла 4 и камеры смешения 5. В качестве абразивного материала выбран карбид вольфрама, так называемый «Релит», используемый в производстве долот, как материал наплавки зубьев шарошек, лопастей и других поверхностей долота, подвергающихся абразивному или контактному износу. Данный материал имеет высокую плотность – около 18 г/см^3 – и очень высокую твёрдость – 2340 кг/мм^2 и как следствие высокую абразивность. В данном случае используется зерновой «Релит», с размерностью зёрен от 0,5 до 2 мм.

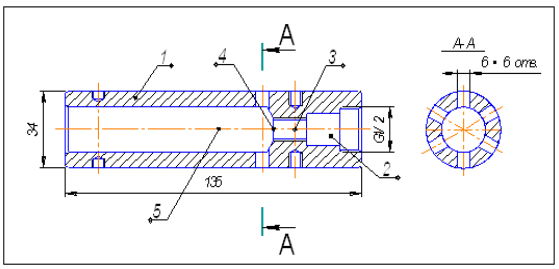


Рис 1. Внешний вид насоса разрабатываемого долота: 1 – корпус; 2 – камера подвода рабочего агента; 3 – латунный жиклёр; 4 – сопло; 5 – камера смешения

Циркуляция карбида вольфрама на забое осуществляется при помощи струйного насоса, который является главным элементом разрабатываемого долота. Принцип действия данного струйного насоса следующий: рабочая жидкость (на первом этапе разработки – техническая вода) подводимая к насадке с большим давлением (около 12 атм) ускоряется в латунном жиклёре и истекает с большой скоростью из сопла, при этом в пространстве, окружающем сопло с внешней стороны, образуется разряжение. В корпусе долота выполнены впускные окна (6 шт.) через которые, благодаря разности давлений между затрубным пространством и пространством камеры смешения, происходит всасывание рабочего агента со взвешенным абразивным материалом. Таким образом, происходит всасывание абразива в ускоренную струю жидкости, которая, проходя камеру смешивания, ударяется о забой и осуществляет разрушение горной породы.

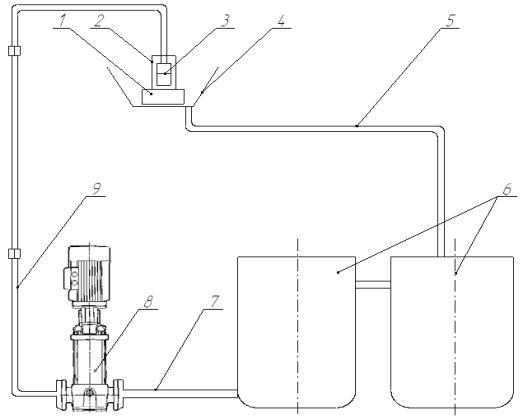


Рис. 1. Схема экспериментальной установки гидромониторно-эрозионного бурения: 1 – образец горной породы; 2 – сливная стеклянная трубка; 3 – долото гидромониторно-эжекторного типа; 4 – сливная ёмкость; 5 – обратная линия; 6 – ёмкости очистки; 7 – всасывающий патрубок; 8 – секционный водоподающий насос; 9 – напорный рукав

Рассмотренное долото является частью сконструированной установки с замкнутой системой циркуляции промывочной жидкости, схема которой представлена на рис. 2. Центробежный насос 8 подаёт промывочную жидкость по гибкому напорному рукаву к гидромонирорному долоту 3, откуда после выполнения полезной работы жидкость с продуктами разрушения поднимается по стеклянной трубке 2 и сливается в сливную ёмкость 4, а затем в ёмкость очистки 6, где происходит гравитационное осаждение шлама. После перелива из первой ёмкости во вторую, промывочная жидкость вновь попадает в насос по всасывающему патрубку 7. Стоит отметить, что конструкции ёмкостей и насоса смонтированы так, что насос находится под заливом и, следовательно, увеличивается эффективность его работы.

Данная установка позволит провести комплекс испытаний по разрушению различных горных пород. В настоящее время лабораторные исследования по данной тематике находятся в стадии гидравлических испытаний установки.

Возможной областью применения данной разработки помимо использования для бурения скважин является обработка различных материалов. Способ гидроабразивного бурения и резания явля-

ется одним из наиболее современных нетрадиционных способов обработки. Этот способ подходит не только для разрушения горных пород, но и для металлов, стекла, керамики, резиновых сплавов армированных металлом и др. Для многих из таких материалов резка обычным механическим инструментом не выгодна с экономической точки зрения и технологически трудно реализуема, а иногда и невозможна. В этом смысле гидроабразивные струи являются универсальным режущим инструментом и обладают следующими преимуществами: они способны резать очень твёрдые материалы, обладают сравнительно низким энергопотреблением и не вызывают расслоения в структуре разрушаемого материала [2].

Список литературы

1. Столяров Р.В., Ковалёв А.В. Разработка гидромониторного долота эжекционного типа / Р.В. Столяров, А. В. Ковалёв; науч. рук. М.А. Самохвалов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIII международного симпозиума им. М.А. Усова, 2008 г. Томск / Томский политехнический университет; Проблемы геологии и освоения недр; под ред. Г.М. Ивановой, А.В. Шадриной. – Томск, 2009. – С. 476–477.
2. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарёв А.Е., Щеголевский М.М. Гидроструйные технологии в промышленности / Гидромеханическое разрушение горных пород. – М.: Издательство академии горных наук, 2000. – 343 с.: ил.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕЗИНЫ НА ЛИНИИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК

Козарь Д.М.

Научный руководитель: Гольдшмидт М.Г., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kozardima@sibmail.com

Современные шины представляют собой сложные композитные изделия, которые обладают высокой устойчивостью к механическим воздействиям и разрушающим факторам окружающей среды. Эти свойства автомобильных покрышек, делают крайне сложной их утилизацию после окончания эксплуатации.

Недостаточные объемы переработки изношенных шин, приводят к их накоплению.

В России ежегодный объем выбрасываемых автомобильных покрышек оценивается более, чем в 800 тыс. тонн [1]. Наибольшие объемы образования приходятся на Москву – 50–60 тыс. тонн, Санкт-Петербург и Ленинградскую обл. – 50 тыс. тонн [2]. Однако в целом, тема утилизации изношенных шин актуальна для каждого региона России, в том числе и Томской обл.

Доля переработки шинных отходов в России очень мала, в основном они хранятся на свалках. При этом контакт покрышек с дождевыми осадками сопровождается вымыванием токсичных веществ, которые попадают в почву. Разложение шины в земле длится более 100 лет [3].

В связи с этим, развитые страны постепенно переходят от захоронения изношенных покрышек к их переработке и вторичному использованию. Среднеевропейский показатель доли перерабатываемых шин составляет 82% [4].

Россия также начала двигаться по пути создания предприятий по утилизации старых шин. Стоит отметить, что этот процесс идет довольно медленно, что связано с отсутствием административной поддержки, большим сырьевым потенциалом и неэффективностью имеющихся в настоящее время технологий по утилизации покрышек.

Способы переработки шин, не подлежащих восстановлению, которые применяются в настоящее время, можно условно разделить на дробление (измельчение) и сжигание.

Дробление может осуществляться разными способами: механическое измельчение, разрушение взрывом, криогенное дробление и т. д. Наибольшее распространение в промышленном масштабе получили технологии механического и криогенного дробления.

Термические способы представлены пиролизом, сжиганием шин в цементных печах, а также в специальных энергетических установках с целью получения энергии.

Наименее цивилизованными способами утилизации шин являются их сжигание и захоронение.

Продуктами переработки шин могут быть резиновый гранулят и крошка, текстильный и металлический корд, углеводородный газ, пиролизная жидкость и технический углерод.

В Томске утилизацией автомобильных шин занимается компания «Экологические системы». Утилизация осуществляется на установке, которая перерабатывает около 800 тонн покрышек типа «КАМАЗ» в год, путем ее механического измельчения специальной цилиндрической фрезой на гранулы, с последующим извлечением металлического корда и разделением на фракции в зависимости от размера [5].

В ходе эксплуатации данной установки были выявлены следующие недостатки:

• сильные вибрации из-за больших габаритов фрезы, несбалансированности, высокой частоты вращения (3000 об/мин), а также неоднородности измельчаемой покрышки (пустоты внутри шины);

• низкая надежность, вследствие сильных вибраций режущего инструмента;

• низкая производительность из-за длительных периодов разгона и остановки фрезы (3–4 мин), необходимости остановки фрезы для смены набора обрабатываемых покрышек, ручного зажима покрышек и простоя фрезы во время смены шин;

• высокое энергопотребление, вызванное электродвигателем привода фрезы мощностью 70КВт;

• конструкция механизма зажима не позволяет закреплять шины разного типоразмера.

На кафедре ведутся работы по оптимизации данной установки, в частности разработаны элементы конструкции, свободные от указанных недостатков. Например, устройство для крепления покрышек сделано автоматизированным, с быстросменными модульными элементами для закрепления шин разного типоразмера, удобным для использования, что позволяет повысить эффективность и производительность всей установки.

На рис. 1 показана кинематическая схема разработанного механизма зажима.

Механизм представляет собой консольную конструкцию, закрепленную в подшипниковой опоре 1 с возможностью вращения вокруг собственной оси. Вращательное движение передается от шагового двигателя $Шд_2$, через зубчатую ременную передачу на полый вал 2 с фланцем 9, к которому крепятся направляющие 3. На направляющих установлена подпружиненная каретка 4, удерживаемая прижимной гайкой 5. Гайка соединена с винтом 6, который приводится во вращение от шагового двигателя $Шд_1$, через предохранительную муфту Мф. На каретке установлены рычаги 7, соединенные с зажимными губками 8 и имеющие возможность поворота, в местах соединения. Каждая губка имеет шарнирное соединение с фланцем вала 9, через силовой рычаг 10. Когда винт перемещает гайку влево, пружины отжимают каретку и зажимные губки, ограниченные в горизонтальном перемещении силовым рычагом, начинают раздвигаться в диаметральной плоскости, под воздействием рычагов 7, изменяющих свое положение.

Таким образом, зажимные губки, раздвигаясь в диаметральной плоскости, зажимают набор покрышек, который на них установлен.

Для того, чтобы губки снова сжать, необходимо дать реверс винту. При этом гайка, соединенная с винтом, упрется в корпус каретки и начнет двигать ее в правую сторону, а зажимные губки примут первоначальное расположение.

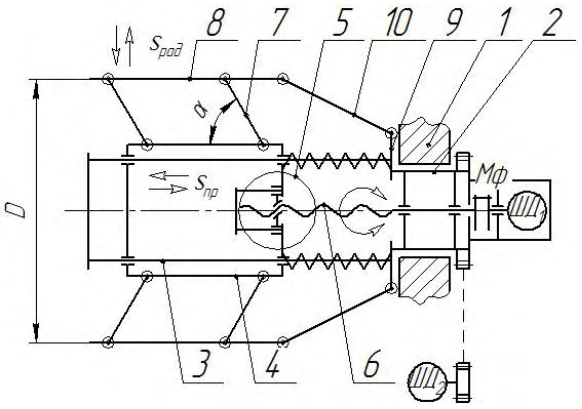


Рис. 1. Кинематическая схема механизма зажима покрышек подлежащих утилизации

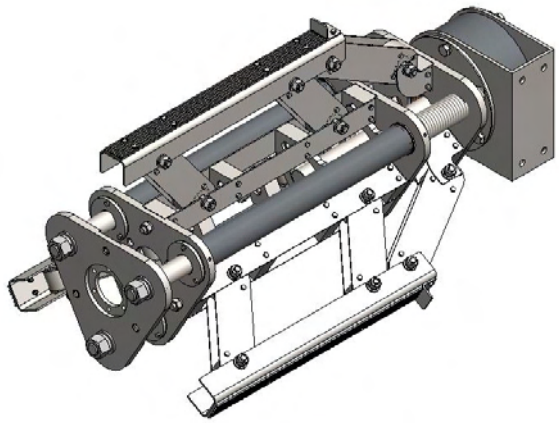


Рис. 2. Механизм зажима покрышек

Рычаги и силовые рычаги являются быстросменными. Можно заменить их на более длинные или короткие, что позволит зажимать шины другого типоразмера.

Показанный механизм зажима покрышек, лишь один из элементов разрабатываемой автоматизированной линии по измельчению изношенных шин.

Список литературы

1. http://www.zaosi.com/SI_business_plan_analis.html
2. http://www.susfainable-cities-net.org.ua/publicationshow.php&id=363
3. http://region-eco.ru/press
4. http://www.waste.uz/index.php/analyst/19-analyst/172-2010-01-29-05-31-06?format=pdf
5. Патент РФ №2325996

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВИБРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА С ОДНОПЕРИОДНЫМ РЕЗОНАНСНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Кондратьев А.А, Саньков В.С.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: peterkrau@tpu.ru

В различных областях техники виброударные системы и устройства находят достаточно широкое применение [1, 2]. Особенность таких устройств заключается в том, что в колебательном контуре их имеется звено с существенной нелинейностью упругой характеристики подвески колеблющейся массы.

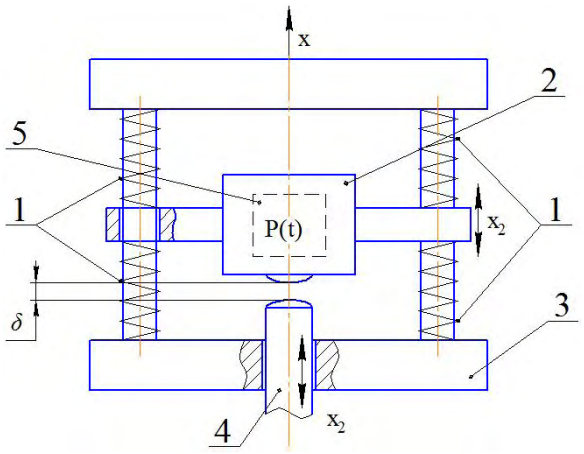


Рис. 1. Конструктивная схема виброударного устройства

На рис. 1 приведена конструктивная схема такого устройства. Виброударный узел такого устройства включает пружины (1), установленные между подвижной массой (2) и массивным основанием (3). На подвижной массе установлен вибровозбудитель (5), генерирующий по направлению оси *X* силу с постоянной амплитудой изменяющуюся по Sin – закону. Наголовник пуансона (4) и боек подвижной массы (1) имеют совместную приведенную жесткость, большую, чем жесткость пружин подвески подвижной массы. В начальном положении , при отсутствии возбуждения колебаний между бойком и наголовником настраивается определенный зазор δ.

Устройство работает следующим образом. После включения вибровозбудителя силы, подвижная масса начинает колебаться. После накопления определенной энергии в колебательном контуре происходит соударение бойка с наголовником, и через определенный промежуток времени виброударное устройство выходит на устойчивый режим. Если перемещение наголовника, передающее энергию удара обрабатываемой среде мало, и диссипация энергии в среде незначительны, то амплитуда колебаний подвижной массы в резонансном режиме достигает значительной величины.

Обычно, при рассмотрении динамики работы таких ударных устройств жесткость контакта: (наголовник – боек) принимают бесконечно большой, а диссипацию энергии в обрабатываемой среде заменяют коэффициентом восстановления скорости подвижной массы.[2]. Такой подход, требует при моделировании динамики устройства установления соответствия между коэффициентом восстановления скорости и вязким сопротивлением среды, например: – пластическая деформация материала при штамповке или вязкое сопротивление среды при вибрационном уплотнении.

На рис. 2 представлена математическая модель виброударного устройства, в которой вместо классического использования коэффициента восстановления скорости после соударения введен коэффициент вязкого сопротивления и жесткость контакта: боек – наголовник. Для автоматической настройки частоты резонансного режима вибровозбудителя применена приближенная формула расчета интегральной жесткости подвески подвижной массы от жесткости пружин (1) – c_1, жесткости контакта: (наголовник – боек) – c_2, начального зазора δ и амплитудного значения силы, генерируемой вибровозбудителем. Собственные потери в колебательном контуре учтены коэффициентом вязких потерь α_1, а вязкие потери в обрабатываемой среде при взаимодействии наголовника с ней после соударения и до его окончания, дополнительно учитываются большим коэффициентом вязких потерь α_2.

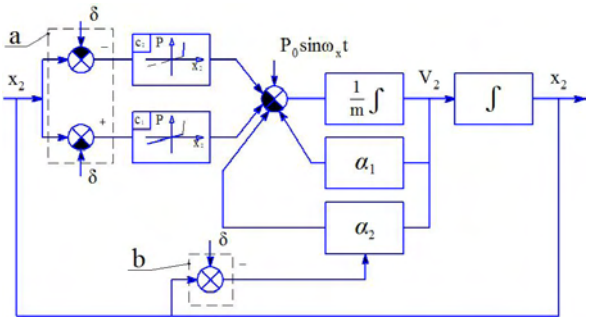


Рис. 2. Математическая модель виброударного механизма: a – блок логики переключения жескости; b – блок логики переключения вязкого сопротивления

Разработанная программа позволяет в интерактивном режиме провести исследование влияния настраиваемых параметров: зазора δ, и коэф-

фициентом вязких потерь α_2 на эффективную работу виброударного узла. На рис 3 приведены результаты моделирования для случая, когда выбранное значение зазора δ обеспечивает максимальную кинетическую энергию колеблющейся массе *m*, в момент соударения.

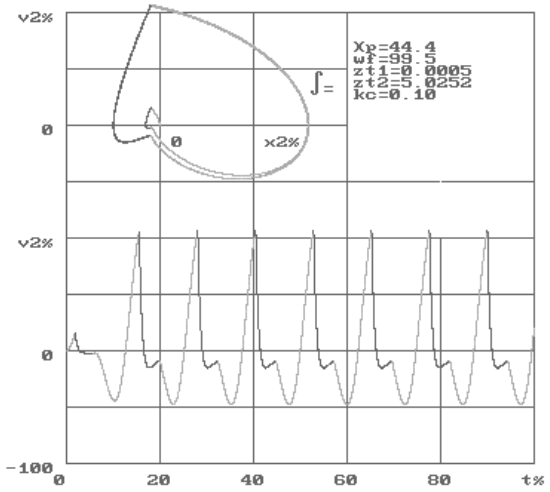


Рис. 3. Режим оптимальной нагрузки виброударного механизма

На фазовой плоскости (слева в верхней части рисунка) модно увидеть, что через определенное количество периодов возникает устойчивый одно-периодный процесс соударения бойка с наголовником.

На рис. 4, при неизменном зазоре δ, существенно, по сравнению с предыдущим, увеличен коэффициент вязких потерь α_2 Увеличение этого коэффициента приводит к затуханию колебаний массы и к неэффективной работе одно-периодного виброударного механизма, причем увеличение зазора δ. не способствует восстановлению устойчивого режима.

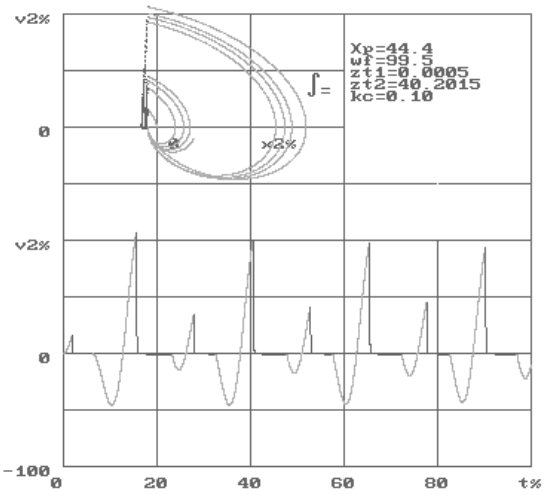


Рис. 4. Режим неоптимальной нагрузки виброударного механизма

Из временной развертки процесса колебаний видно, что одно-периодная резонансная накачка контура не позволяет ввести в контур значительную энергию, позволяющая сохранять устойчивый режим соударения бойка с наковальней.

Таким образом, разработанная уточненная математическая модель позволяет провести исследование виброударного механизма и выявить особенности его поведения.

Список литературы

1. Вибрация в технике: справ. – М.: Машиностроение, 1979. – Т. 2. – 352 с.
2. Бабицкий В.И. Теория виброударных систем. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

МЕХАНИЗМ ПОВОРОТА ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПРЕДЕРА НА ОСНОВЕ СПИРОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Корнеев Ю.В.

Научный руководитель: Анферов В.Н., д.т.н., профессор

Сибирский государственный университет путей сообщения,
630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191
E-mail: korneevuv@mail.ru

В настоящее время контейнерные перевозки все шире используются на автомобильном, железнодорожном, водном и воздушном транспорте. В связи с этим актуальным становится вопрос усовершенствования грузозахватных устройств с целью ускорения процесса погрузки-выгрузки и перевалки контейнера на другой вид транспорта.

Основным грузозахватным устройством, которое предназначено для застропки, отстропки и перегрузки крупнотоннажного контейнера, находящееся с ним в прямом контакте и состоящее из грузозахватных элементов для соединения с контейнером, рамы или траверсы для крепления этих грузозахватных элементов и подвески к грузоподъемной машине, является так называемый спредер (от англ. spreader, дословно – «раскладное приспособление, распорка») [1].

В настоящее время отмечается непрерывный рост парка козловых кранов с грузозахватными устройствами типа спредер, при устойчивой тенденции поиска новых конструктивных решений, учитывающих научно-технические достижения и требования рынка.

В мировой и отечественной практике наибольшее распространение получили конструкции спредеров с механизмами поворота грузозахватных элементов, содержащих червячные передачи (рис. 1).

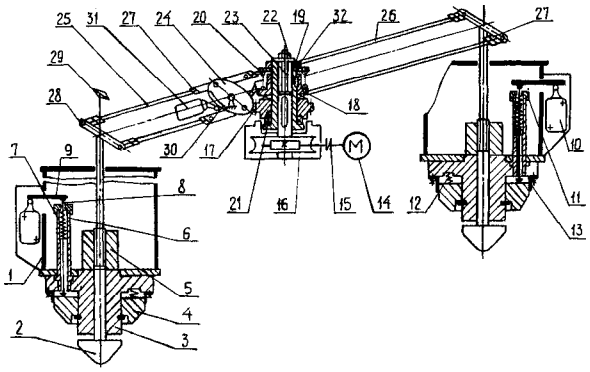


Рис. 1. Механизм поворота грузозахватных элементов на основе червячной передачи:
1 – балка коробчатого сечения; 2 – поворотный кулачок; 3 – стакан узла грузозахватных элементов; 4 – опорное кольцо; 5 – гайка; 6 – стакан узла блокировки «полной посадки»; 7 – пружина; 8 – шток; 9 – упор; 10 – конечный выключатель; 11 – гайка узла блокировки «полной посадки»; 12 – пружина узла грузозахватных элементов; 13 – фланец; 14 – электродвигатель; 15 – муфта; 16 – червячный редуктор; 17, 18 – полумуфты; 19 – гильза; 20 – пружина муфты предельного момента; 21 – опорный подшипник; 22 – регулировочная гайка; 23 – шпилька; 24 – зубчатое колесо; 25, 26 – тяги; 27 – гайка регулировки тяги; 28 – коромысло; 29 – указатель поворота кулачков; 30 – упор; 31 – конечный выключатель; 32 – регулировочная гайка муфты предельного момента

Механизм привода поворота грузозахватных элементов состоит из электродвигателя 14, муфты 15, червячного редуктора 16, муфты предельного момента, состоящей из двух полумуфт 17 и 18, гильзы 19, пружины 20, двух регулировочных гаек 32, шпильки 23 и опорного подшипника 21. Муфта предельного момента находится на выходном валу червячного редуктора и предназначена для предохранения от поломок деталей механизма в случае заклинивания поворотных кулачков.

К элементам кинематики относятся зубчатое колесо 24, к которому закреплены тяги 25 и 26. Для воздействия на выключатели 31 на зубчатом колесе 24 закреплен упор 30. Для регулировки длины тяг 25 и 26 предусмотрены гайки 27.

При наведении спредера на контейнер, поворотные кулачки 2 входят в фитинги (продольные пазы) контейнера, при этом опорное кольцо 4 нажимает на шток 8, а связанный с ним упор 9 освобождает выключатель 10 от механического воздействия, и ролик выключателя возвращается в исходное положение. После полной посадки спредера на контейнер всеми четырьмя точками зажигается желтая сигнальная лампа в кабине крановщика и автоматически включается электродвигатель 14 механизма привода поворота грузозахватных элементов. Вращение от электродвигателя через муфту 15 и червячный редуктор 16 передается на гильзу 19, затем через шпонку движение передается на верхнюю полумуфту 18, которая под действием пружины 20 входит своими кулачками в пазы нижней полумуфты 17 и приводит ее во вращение. Полумуфта 18 своими наружными зубьями входит в зацепление с зубчатым колесом 24, которое шарнирно связано с тягами 25 и 26. При повороте зубчатого колеса происходит продольное движение тяг, а связанное с ним коромысло 28 вращает поворотные кулачки 2. При повороте кулачков на 90° во всех четырех точках загорается красная сигнальная лампа [2].

К недостаткам данной конструкции механизма поворота грузозахватных элементов можно отнести большое количество звеньев в кинематической цепи, следствием чего является вероятность быстрого выхода из строя составляющих цепи. Кроме того, длительный опыт эксплуатации отечественных спредеров с механизмами, содержащими приводы с червячными редукторами, а также опыт иностранных фирм убедительно свидетельствует о целесообразности поиска более эффективных технических решений из-за существенных недостатков цилиндрической червячной передачи, таких как: сравнительно низкий КПД, повышенный износ в связи с большими скоростями скольжения в зацеплении, склонность к задирам и заеданию контактирующих поверхностей, необходимость в применении для изготовления венца червячного колеса дорогих и дефицитных бронз.

Дальнейшее совершенствование приводов невозможно без применения новых передач зацеплением. В настоящее время в технике широко используется новая разновидность передач с перекрещивающимися осями – спироидная, имеющая высокие эксплуатационные показатели в сравнении с другими типами передач с перекрещивающимися осями

Спироидная передача является одной из прогрессивных разновидностей зубчатых передач. По технологии изготовления она относится к передачам типа червячных, по внешним геометрическим признакам – к гипоидным.

Область применения спироидных передач распространяется на все случаи, где традиционно используются червячные цилиндрические и глобоидные червячные передачи [3].

Важным достоинством спироидных передач является их большая износостойкость сравнительно с червячными передачами. Это объясняется большим коэффициентом перекрытия, увеличенным значением приведенного радиуса кривизны, лучшими для образования слоя смазки расположением контактных линий, меньшим значением скорости скольжения. Этому, кроме того, способствуют и повышенные значения скоростей движения контактных точек по зацепляющимся поверхностям, что приводит к более быстрому выводу из зоны контакта участков рабочих поверхностей зубьев, меньшему их нагреву и, следовательно, уменьшению опасности заедания [3].

Предпосылками к разработке механизма поворота грузозахватных элементов спредера на основе спироидной передачи явилось следующее:

• повышенная нагрузочная способность, надежность и долговечность, обусловленные улучшенными показателями геометрии и кинематики зацепления;

• высокая стойкость к ударным, вибрационным нагрузкам и кратковременным перегрузкам;

• возможность осуществления передачи движения с изменением частоты вращения между валами, оси которых перекрещиваются;

• большие, в сравнении с червячными, КПД и износостойкость;

• компактность, плавность хода и бесшумность работы, пониженная виброактивность;

• возможность исключения обратного хода (самоторможение);

• технологичность изготовления и сборки;

• возможность применения для их изготовления не только бронз, а также стали и чугуна [3].

Указанные достоинства спироидных передач делают их весьма предпочтительными для применения в различных отраслях техники, в том числе в подъемно-транспортных машинах, а именно в приводах механизмов спредера козлового крана.

В разработанной нами конструкции привода механизма поворота грузозахватных элементов (рис. 2) применен спироидно-цилиндрический мотор-редуктор, произведенный УНПЦ «Механик».

В результате использования мотор-редуктора исключается соединительная муфта в сопряжении «двигатель-редуктор», а также с целью упрощения конструкции и изготовления комплектующих для соединения вала редуктора и тяги вместо открытой цилиндрической зубчатой передачи используется эллипсовидный кривошип, за счет которого повышается КПД всего механизма в целом.

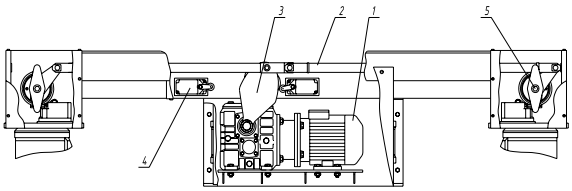


Рис. 2. Механизм поворота грузозахватных элементов на основе спироидной передачи:
1 – спироидно-цилиндрический мотор-редуктор;
2 – тяга; 3 – кривошип; 4 – конечный выключатель;
5 – грузозахватный элемент

Вращение от электродвигателя 1 через редуктор передается на кривошип 3, при повороте которого происходит продольное движение тяг 2, а связанные с ними коромысла вращают грузозахватные элементы 5. При повороте кулачков на 90^0 срабатывает один из конечных выключателей 4, который автоматически отключает весь привод.

Мотор-редуктор удачно компонуется на раме, которая приваривается к несущей балке спредера с минимальным вмешательством в конструкцию последней. Таким образом, в рассматриваемом механизме уменьшено число звеньев, работающих совместно, а также существенно увеличены надежность конструкции и ресурс передачи механизма.

Список литературы

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов. – М., 1979. – 558 с.
2. Абрамович И.И., Котельников Г.А. Козловые краны общего назначения. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
3. Анферов В.Н. Создание приводов подъемно-транспортных машин на основе спироидных передач: диссертация доктора технических наук. – Новосибирск, 2002. – 262 с.

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Кузнецов М.А, Ильященко Д.П., Кобзаренко Е.Е.

Научный руководитель: Зернин Е.А., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: kyznechik_85@mail.ru

По данным Национального Агентства Контроля и Сварки (НАКС) при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств опасных производственных объектов объем работ, выполняемых с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами, составляет порядка 63% [1].

Одним из недостатков РДС покрытыми электродами является разбрызгивания электродного металла. Разбрызгивание сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества брызг (капель) жидкого металла различного размера, вступающих в физико-химическое взаимодействие с поверхностными слоями свариваемого металла, что приводит к изменению его структурно – фазового состояния [2]. Установлено [3], что трудоемкость по отчистки поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла, составляет от 15–20% от основного времени сварки.

Снизить величину набрызгивания, капель расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей, можно двумя способами [4]:

1) устранить или снизить величину разбрызгивания (разработкой систем управления переносом металла; разработкой новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки);

2) применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла.

Широко применяемые в последнее время защитные жидкости и спреи (различных производителей) оказывает влияние на качественный состав сварочного аэрозоля при дуговой сварке плавлением. Сварочный аэрозоль оказывает негативное влияние на [6]:

1) органы системы дыхания. Воздействие сварочных аэрозолей может приводить к развитию профессиональных бронхитов, пневмоний, астматических ринитов и бронхиальной астмы, пневмокониозов. Пневмокониоз – основное профессиональное пылевое заболевание;

2) зрительный анализатор. Сварочные аэрозоли оказывают раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, способствуют развитию конъюнктивита;

3) кожные покровы. Неблагоприятное влияние сварочного аэрозоля проявляется в виде шероховатости, огрубения и шелушения кожных покровов. Отмечается появление угрей, экзем, дерматитов;

4) иммунная система. Длительное воздействие аэрозолей снижает защитные свойства организма. У работающих отмечается увеличение дней нетрудоспособности в связи с возникновением сопутствующих заболеваний, в основном простудного характера.

В настоящей работе были проведены исследования при РДС покрытыми электродами по защитным покрытиям. Исследования проводились с целью выявления валовых выделений пыли и газов при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий в лабораторных условиях, при этом изучались: количество пыли, образующейся при сварке, и ее химический состав, содержание в пыли марганца, качественный и количественный состав дисперсионной среды, образующегося сварочного аэрозоля, содержание: окиси и двуокиси углерода – CO, CO_2; окиси кремния – SiO; окислы азота – NO, NO_2; озон – O_3 и т. д.

Сварка в РДС покрытыми электродами производилась на стальных образцах с нанесенными защитными покрытиями (различных марок) по всей поверхности, электродами различных марок. Отбор проб воздуха для определения уровня загрязнения воздушной среды проводился в зоне дыхания сварщика. В исследованиях использовали следующие оборудование: аспиратор для отбора проб воздуха мод. 822; барометр-анероид БАММ-1; психрометр аспирационный МВ-4М; газоанализатор «ЭЛАН-СО-50».

Аспиратор работал 20 минут при каждом отборе пробы, протягивая за это время 0,2 м^3 воздуха. Количество образующейся при сварке пыли определяли по разности весов фильтров, через которые осуществлялось протягивание воздуха [4]:

$$P = \frac{M_1 - M_2}{V}$$

где M_1–масса фильтра после сварки и контрольного времени, г; M_2–исходная масса фильтра, г; V– объем протянутого через фильтр воздуха, м^3.

Полученные результаты исследования составляющих компонентов сварочной аэрозоли образующейся при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий представлены в таблице 1. Для проведения исследования были отобраны наиболее применяемые защитные покрытия: разработанное защитное покрытие [7]; Сварпол (производитель ПКП «Промтехснаб» г. Омск); Спрей «Super Pistolen Spray» (производитель фирма Binzel); Покрытие PROTEC CE 15 L.

Таблица 1

Результаты анализа выделений пыли, газов и других примесей при ручной дуговой сварке покрытыми электродами с применением защитных покрытий (нанесено по всей поверхности образца, вытяжная вентиляция отключена)

Условия отбора проб	Наименование определяемого элемента	Единица измерения	Защитные покрытия					ПДК [8]
			Без покрытия	покрытие[7]	Сварпол	PROTEC CE 15 L	Super Pistolen Spray	
Электроды – LB – 52U диам 3.2, Сталь 09Г2С	Сварочная аэрозоль	мг/м^3	3,6±0,9	2,3±0,6	7,7±1,9	4,5±1,1	5,9±1,5	
	N O2		менее 0,6	менее 0,6	менее 0,6	менее 0,6	менее 0,6	2,0
	HF		менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	0,5
	Хром 6		менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	0,03
	Хром 3		менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	3,0
	Mn		0,15±0,03	0,07±0,01	0,25±0,05	0,09±0,02	0,22±0,04	0,6
	CO		0,05	0,05	0,07	0,14	0,23	20,0

Анализ результатов исследований показал, что при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий происходит незначительно увеличение основных составляющие компонентов сварочной аэрозоли, однако превышения ПДК [8] отмечено не было.

Список литературы

1. Князьков В.Л., Князьков А.Ф. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов.– Кемерово: Изд-во ГУ КузГТУ., 2008. – С. 104.
2. Сабиров И.Р., Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Применение функциональных покрытий при дуговой сварке плавящимся электродом. Новые промышленные технологии. – 2009. №1 – С. 7–9.
3. Федько В.Т., Ястребов А.П., Ильященко Д.П. Проблемы разбрызгивания металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (обзор) // Технология машиностроения. – 2005. – №3. – С. 23–31.
4. Элементы теории и технологии защиты поверхности от брызг расплавленного металла при сварке в углекислом газе: учебное пособие / В.Т. Федько, С.Б. Сапожков, П.Д. Соколов, А.П. Ястребов. – 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 146 с.
5. Ильященко Д.П., Сапожков С.Б. Величина набрызгивания при РДС плавящимся электродом и методы ее снижения // Новые промышленные технологии. – №5. – 2009. – С. 25–28.
6. Карпов Б.Д., Ковшило В.Е. (ред.). Справочник по гигиене труда. – Л.: Медицина, 1979 г.
7. Пат. 2297311 (РФ). B23K 35/36., Состав покрытия для защиты поверхности свариваемого изделия от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением [Текст] / С.Б. Сапожков, Е.А. Зернин, Д.П. Ильященко; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Томский политехнический университет». Заяв. 09.03.06; опубл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
8. ГН 2.2.5.1313 – 03 Предельные допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ДЕТАЛЕЙ

Медведев Д.В., Куркина Л.А.

Научный руководитель: Елаева Н.К., к.т.н., доцент

Восточно-Сибирский государственный технологический университет,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 в строение 1
E-mail: tmmskesstu @mail.ru

Существующие интегрированные CAD/CAM системы не позволяют в настоящее время автоматически формировать последовательность обработки в соответствии с конструктивными особенностями деталей. Программно-информационное обеспечение (ПИО) таких интегрированных CAD/CAM систем включает средства геометрического описания объекта, средства манипуляции с геометрическим образом, средства отображения объекта, средства формирования графической документации и средства формирования геометрической информации для обработки на станках с ЧПУ.

Проектирование технологических процессов (ТП) является одним из важнейших этапов в процессе подготовки производства изделий и связано с процедурами структурного синтеза операций и переходов. В современных интегрированных системах, таких как КОМПАС, T-FLEX, ADEM и др., имеются модули проектирования технологических процессов с расчетом режимов резания, норм времени и т. д. Однако, в данных системах процесс формирования последовательности обработки не автоматизирован, режимы резания выбираются из базы данных, либо назначаются вручную, практически отсутствуют оптимизационные решения.

Для деталей типа тел вращения, где количество элементов ограничено, можно увязать конструктивные особенности деталей с автоматизацией последовательности их обработки. Такой подход создает возможность перехода к безбумажной форме взаимодействия с автоматизированным производством.

Задачей разработки подсистемы геометрического синтеза деталей является формирование геометрически точной модели объекта проектирования. Геометрическая модель является математически точным описанием будущего объекта производства. Поскольку деталь является основой любого объекта конструкторского проектирования, она может синтезироваться на основе элементарных геометрических фигур, состоящих, в свою очередь, из совокупности поверхностей. Таким образом, деталь может быть представлена в виде элементарных поверхностей, таких как цилиндр, торец, фаска (или конус), различные типы отверстий и т. д. Был проведен анализ более 300 деталей. Выявлено около 100 элементарных поверхностей. Наиболее часто встречающиеся поверхности были использованы в качестве базы для программы (рис. 1).

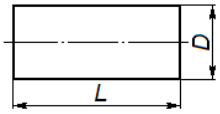
Состав базиса геометрического моделирования классифицируется по принципу плоских (2D) и объемных (3D) моделей. В соответствии с плоской или объемной моделью меняется и состав элементарных поверхностей базиса геометрического моделирования: от прямых линий до криволинейных поверхностей.

Методы структурного синтеза технологических процессов в САПР ТП, основываются на установлении структурного соответствия элементов одной группы множеств элементам другой группы множеств. В данном случае установлена взаимосвязь между элементами исходной семантической конструкции, описывающей деталь, и элементами структуры ТП. Основу любого структурного синтеза составляют операции, реализуемые над элементами базы данных, которая является составной частью САПР. База данных по своему содержа-

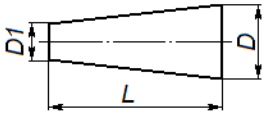
нию всегда конкретна и обслуживает проектные задачи вполне определенной предметной области.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов условно разбита на 2 модуля. В 1-м модуле проектируется 3D-модель детали (рис. 2) из элементарных конструктивных элементов (рис. 1).

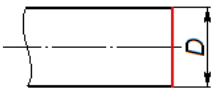
Объект: Цилиндр
Параметры: диаметр D и длина L



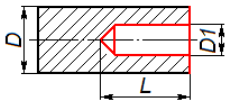
Объект: Конус
Параметры: диаметр D, D1 и длина L



Объект: Торец
Параметры: диаметр D



Объект: Торец с отверстием
Параметры: диаметр D, D1 и длина L



Объект: Переход между цилиндрами
Параметры: диаметр D, D1

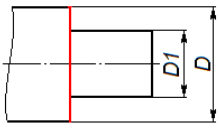


Рис. 1 Фрагмент классификатора элементарных поверхностей

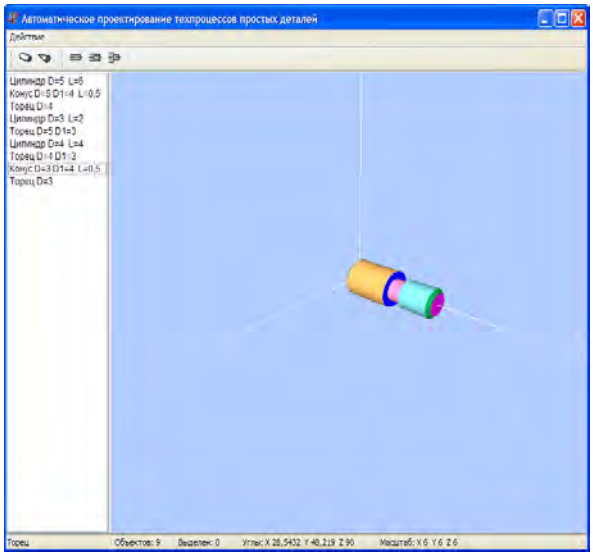


Рис. 2. Окно модуля проектирования 3D модели детали из конструктивных элементов

Во 2-м модуле автоматически проектируется технологический процесс, и рассчитываются оптимальные режимы резания, нормы времени, себестоимость выполнения операции (рис. 3.).

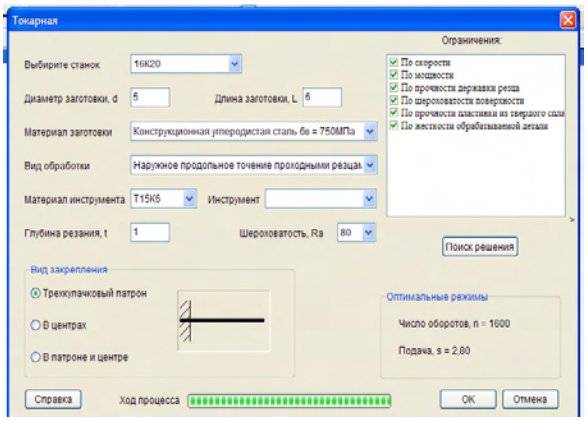


Рис. 3. Расчет оптимальных режимов резания

На рис. 3 представлено окно 2-го модуля программы, в котором выбираются необходимые для расчетов ограничения, а также выбираются тип станка, марка материала заготовки, вид обработки, материал режущего инструмента, глубина резания, шероховатость поверхности, вид закрепления.

Геометрические параметры заготовки программа вносит автоматически, в зависимости от спроектированной 3D модели.

После расчета режимов резания определяются основное время на обработку детали, а также затраты как по переходам, так и суммарные по технологическому процессу. На рис. 4 показан результат расчета.

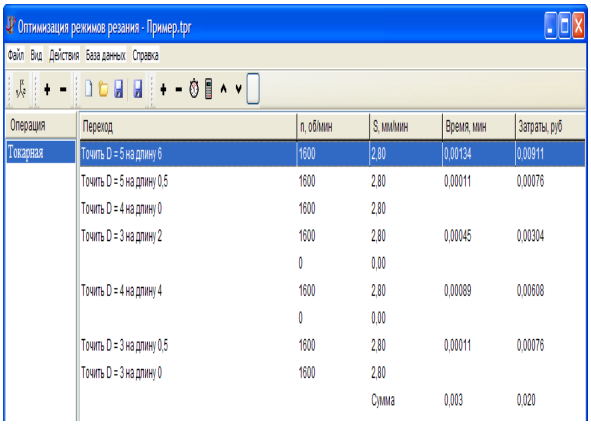


Рис. 4. Окно модуля автоматического проектирования техпроцесса детали

Система геометрического синтеза деталей и автоматического формирования последовательности обработки разработана с целью экономии труда технологов, повышения качества технологического проектирования.

Программа написана на языке DELPHI и работает с базами данных по станкам и операциям. Система является открытой для наращивания, предусмотрена возможность дополнения базы данных.

Кроме того, в программе рассчитывается основное время обработки исходя из оптимальных режимов резания, себестоимость выполнения операции.

Разработанная система позволяет повысить производительность труда, точность и качество изготовляемой продукции, уменьшить затраты на операцию и т. д. Программа рассчитана на использование в курсовом и дипломном проектировании для студентов машиностроительных специальностей.

Список литературы

1. Павлов В.В. О математическом моделировании дискретного производства / Информационные технологии, 1995, № 0. – С. 15–19
2. Краснов М.В. OpenGL. Графика в проектах DELPHI. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 352 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ БОЧКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ЛИСТОВЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ЕЕ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Кухта Ю.Б., Егорова Л.Г.

Научный руководитель: Полецков П.П., к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», 455000, Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
E-mail: yuka@mgn.ural.customs.ru

При производстве горячекатаного проката, прежде всего, стремятся получить качественную продукцию, т. е. обеспечить необходимый профиль поперечного сечения прокатываемых полос при сохранении высокой плоскостности. Это довольно сложная задача, требующая постоянного контроля взаимодействия множества технологических факторов, нестабильных во времени. Один из них – тепловой баланс процесса прокатки и динамика теплообменных процессов. Стабилизация этих факторов во времени, предсказуемость их колебаний – важная задача, решение которой способствует улучшению многих качественных характеристик готового проката [1–2].

В процессе работы из-за внутреннего прогрева тепловая выпуклость валков (ее величина зависит от разницы температур в разных точках по длине бочки валка, обычно – между краями и серединой) постепенно нарастает и стабилизируется через некоторое время, которое определяется главным образом ритмом прокатки. Чем больше температурный градиент, тем более выражено тепловое искажение профиля валка. Это приводит к изменению формы зазора между рабочими валками и как следствие – отсутствие равномерной деформации по ширине прокатываемой полосы, что ведет к формированию листа с дефектами [3–4]. В связи с этим необходимо вовремя производить динамическую корректировку профиля и плоскостности прокатываемой полосы. Это позволит устранить некоторые начальные погрешности в настройке механизмов стана и получить требуемые значения поперечного сечения и плоскостности по длине полосы.

В связи с чем актуальна задача получения информации о форме профиля валков с учетом изменения тепловой выпуклости в любой момент процесса производства. Для ее решения необходимо разработать математическое описание процесса изменения температурного поля рабочего валка при горячей прокатки и создать алгоритмы, реализовав их в виде программного продукта, который позволит провести теоретическое изучение характера изменения температурного состояния, а также провести различные исследования прикладного характера. Причем полученная информация даст возможность выдать необходимые рекомендации, позволяющие максимально эффективно поддерживать требуемое тепловое состояние рабочих валков.

Основой для разработки математического описания температурного поля рабочего валка горячей прокатки является дифференциальное уравнение теплопроводности бесконечного цилиндра [2]:

$$\frac{\partial^2\theta(\rho,\phi,F_0)}{\partial\rho^2}+\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial\theta(\rho,\phi,F_0)}{\partial\rho}+\frac{1}{\rho^2}\cdot\frac{\partial^2\theta(\rho,\phi,F_0)}{\partial\phi^2}=\frac{\partial\theta(\rho,\phi,F_0)}{\partial F_0}, \quad (1)$$

где $\partial\theta(\rho,\varphi,F_0)$ – относительная температура, равная $\frac{t(\rho,\varphi,F_0)-t_{\min}}{t_{\max}-t_{\min}}$ при $(0\le\theta\le1)$, t_{max}, t_{min} – максимальная и минимальная температуры; $t(\rho,\varphi,F_0)$ – абсолютная температура; $\rho=r/R$ – относительный (безразмерный) радиус; R – наружный радиус валка, $(0\le\rho\le1)$; $F_0=\frac{\alpha\tau}{R^2}$ – число Фурье, характеризующее время неустановившегося процесса, причем α – коэффициент температуропроводности материала валка, τ – время протекания процесса.

Алгоритм определения теплового и температурного профиля рабочих валков включает в себя выполнение следующих шагов.

1. Расчёт температурного поля

Расчёт температурного поля включает в себя расчёт балансовых температур $t_{ср}$, $t_в$ и t_L (рис. 1).

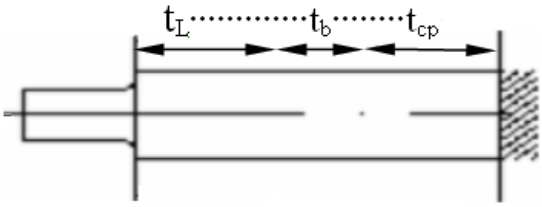


Рис. 1. Распределение температур

1.1. Температура валка в середине

$$t_{cp} = \left(\frac{\left(\alpha + \phi_2/2\right)\cdot\left(k\cdot t_n - t_{ж}\right)}{2\pi - \left(\phi_2 - \phi_4\right)/2} + t_{ж} \right) \frac{\tau_m}{\tau_n + \tau_m}.$$

1.2. Температура валка в сечении t

$$t_b = \frac{\theta_b}{100}(t_{cp} - t_{ж}) + t_{ж} \quad (\pm 5\%),$$

где θ_b – относительная средняя температура, %

1.3. Температура валка в точке

$t_L = \frac{\theta_L}{100}(t_{cp} - t_{ж}) + t_{ж}$ – температура поверхности бочки валка,

$$\theta_L = 1{,}2 + f_1\left(\frac{\alpha_b}{\lambda_b}\right) + f_2\left(b/L\right) + f_3\left(D/L\right) + f_4\left(\theta_{ПШ}\right)$$

$$\theta_{ПШ} = \frac{\left(t_{ПШ} - t_{Ж}\right)}{\left(t_{cp} - t_{Ж}\right)} \cdot 100,$$

$t_{пш}$ – температура подшипников.

2. Аппроксимация полученных результатов с построением кривой температурного профиля

Вид кривой представлен на рис. 2.

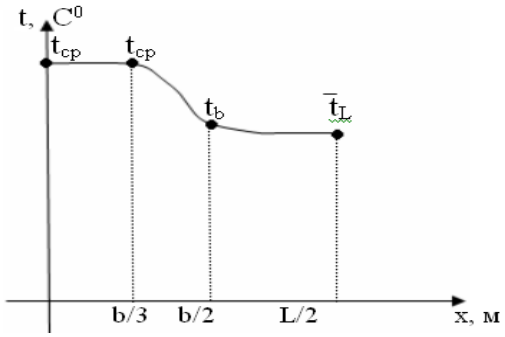


Рис. 2 Кривая температурного профиля

3. Расчёт разогрева и охлаждения поверхности бочки рабочих валков

Разогрев бочки рабочих валков состоит, во-первых, из расчета средней температуры, во-вторых, расчета температуры валка при наличии полосы в стане и времени паузы. Получаем формулы расчета теплового профиля

$$\Delta_t^{o-b} = \alpha_л D_b \left(1 - \frac{\theta_b}{100}\right)(t_{cp} - t_{Ж});$$

$$\Delta_t^{o-L} = \alpha_л D_b \left(1 - \frac{\theta_L}{100}\right)(t_{cp} - t_{Ж});$$

$\alpha_л$ – коэффициент линейного расширения,

$\alpha_л$ =0,0000111.

Математическое описание предоставляет возможность полноценно учесть неравномерный характер распределения температуры по длине бочки, учитывая темп прокатки – количество произведенной продукции за определенный промежуток времени, а также сортамент. Оно легло в основу алгоритмов программы, которая позволяет строить температурные профилограммы для верхних и нижних рабочих валков чистовой группы клетей широкополосного стана горячей прокатки, а также регулировать значения таких параметров как температура среды и воды (используется для охлаждения валков), задавать время паузы.

Работа программы «Определение и прогнозирование теплового и температурного профиля бочки рабочих валков листовых станов горячей прокатки» начинается с введения информации о прокате, который готовится к производству (осуществляется в автоматическом режиме из файла, который определяет пользователь).

Происходит последовательный расчет изменения температуры для каждого следующего типоразмера с другими начальными условиями параметров толщина полосы на входе в клеть выходе из нее, температураполосы, ширина полосы, скорость и т. д. (рис. 3).

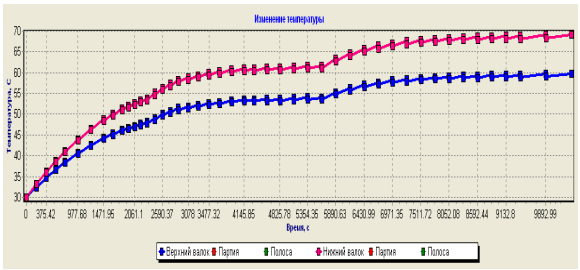


Рис. 3. График изменения температуры

На протяжении всего расчета происходит определение по температурной кривой значений минимум в 51 точке на половине длины бочки, строится график, отображающий текущий тепловой профиль. Розовое поле на графике схематично отображает ширину прокатываемой полос (рис. 4).

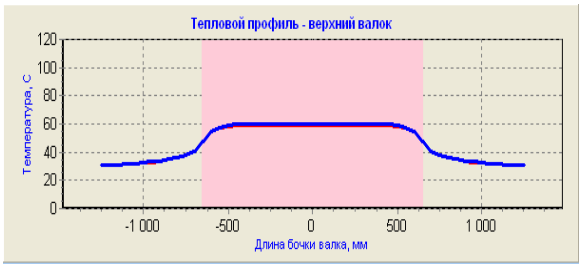


Рис. 4. Тепловой профиль валка с полосой

Использование представленной программы дает возможность подробного анализа изменения температур рабочих валков, что позволяет определить критический перегрев валков и внести необходимые корректировки до начала процесса производства во избежания образования дефектов проката, вызванных температурным градиентом.

Список литературы

1. Третьяков А.В., Гарбер Э.А. и др. Совершенствование теплового процесса листовой прокатки. – М.: Металлургия, 1973. – 304 с.
2. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И.. Расчет параметров листовой прокатки. – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.
3. Нилаев В.А., Пилиенко С.С. и др. Повышение эксплуатационной стойкости опорных валков дрессировочных станов // Бюллетень «Черная металлургия». – 1981. – № 19. – С. 49–50.
4. Меденков А.А., Трайно А.И. Улучшение плоскостности горячекатаных полос // Бюллетень «Черная металлургия». –1984. № 14. – С. 39–40.

ПЛАЗМЕННО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ЧПУ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Лавров А.С., Карышев А.С.

Научный руководитель: Платонов В.В., к.т.н., доцент

Хакасский технический институт – филиал ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет, 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: paparazi@sibnet.ru

Физическая сущность процесса плазменно-механической обработки заключается в разупрочнении материала детали, обрабатываемой традиционными методами резания на токарных, карусельных или строгальных станках, с помощью локального дозированного нагрева в пятне плазменной дуги, при этом глубина нагрева регулируется таким образом, что разупрочненный слой удаляется резцом, следующим за пятном нагрева.

Процесс плазменно-механической обработки остается наиболее эффективным методом повышения производительности труда и снижения машинного времени, особенно при обработке крупногабаритных деталей, изготовленных из высокопрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов: высокомарганцовистых сталей, высокоуглеродистых и легированных сталей, отбеленного чугуна, титановых сплавов; деталей, имеющих нагартованные и наклепанные поверхности, твердые наплавки или литейные и ковочные корки.

Плазменная резка в настоящий момент является наиболее массовым способом вырезки заготовок из листового проката малых и средних толщин (3…50 мм), значительно превосходит газовую резку по производительности. Однако для ряда производств, в которых основу технологии производства составляет газовая или плазменная резка листового проката большой длины, локально накопленная теплота в зоне резки ведет к короблению, поэтому возникает необходимость включения правки в технологический процесс производства. Это относится к предприятиям, которые производят крупные металлоконструкции различного хозяйственного назначения. Например, пролеты железнодорожных и автомобильных мостов, каркасы некоторых зданий и сооружений, различные вышки и опоры и т. д.

Применение плазменно-механической обработки с ЧПУ листового проката позволяет не только увеличить производительность, но и изменить сам технологический процесс, практически исключив процесс правки после термической резки и совместив процесс резки с последующей механической обработкой (подготовкой кромок под сварку и сверление отверстий под дальнейшую сборку).

Сущность процесса заключается в следующем. Плазменная струя разрезает лист, образуя сквозную канавку, а за ней идет специальная концевая фреза, которая удаляет нагретые до температуры плавления кромки канавки в стружку, тем самым значительно уменьшает локальный нагрев и как следствие искривление листа после резки. Расстояние между плазменной струей и специальной фрезой максимально близко насколько позволяет конструктивно расположить установка. Это позволяет основное количество тепла отправить в стружку. На рис. 1 представлен общий вид установки при обработке листового материала.

Плазменно-механическая обработка с ЧПУ листового проката

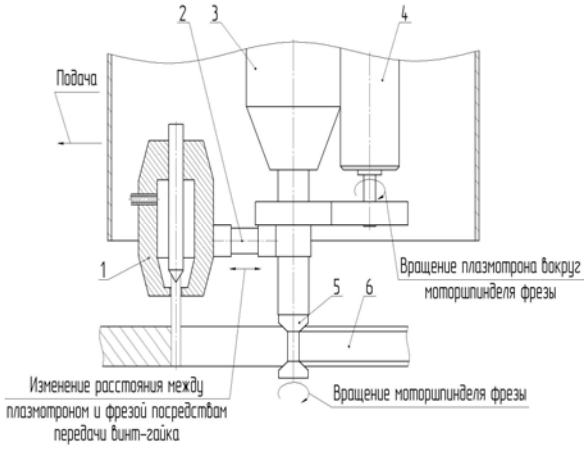


Рис. 1. Общий вид установки при обработке листового материала: 1 – плазмотрон; 2 – передача винт-гайка; 3 – моторшпиндель; 4 – двигатель, предназначенный для предания вращения плазмотрона вокруг шпинделя фрезы; 5 – специальная концевая фреза; 6 – листовой прокат после обработки

Принцип работы установки при разделке листового проката (см. рис. 1) заключается в следующем.

Основное движение – движение специальной концевой фрезы 5, вращение которой придается моторшпинделем 3, выполняется по траектории, заданной ЧПУ. Движение происходит в прямоугольной системе координат, по сквозной канавке, которая образованна плазменной струей. Движение плазмотрона 1 происходит в полярной системе координат, по заранее заданной траектории. При этом плазмотрон и моторшпиндель имеют между собой связь – винт-гайка, по средствам которой происходит регулирование расстояния между этими элементами. Расстояние будет зависеть от физико-химических свойств обрабатываемого материала и от траектории движения концевой фрезы. Изменение угла в полярной системе координатах, т. е. вращение плазмотрона вокруг моторшпинделя в установке будет происходить посредствам двигателя 4, за счет зубчатой (зубчато-ременной) передачи между ним и «узлом вращения плазмотрона». В конечном итоге получаем изделие с подготовленными кромками для последующей сварки.

Плазменно-механическая обработка с ЧПУ отверстий в листовом прокате

Принцип работы установки при обработке отверстий (см. рис. 2) заключается в следующем.

Движение плазмотрона 1 происходит по заданной траектории от начальной точки движения к конечной по контуру получаемого отверстия. Затем следует обработка отверстия концевой фрезой 3. Вся обработка ведется в прямоугольной системе координат.

Основные преимущества применения плазменно-механической обработки с ЧПУ листового проката:

1. Уменьшение коробления листа после обработки.

2. Совмещение резки и подготовки кромок к последующей сварке.

3. Сверление технологических отверстий совмещено с данным процессом.

4. Все вместе значительно сокращает общую трудоемкость, так как весь процесс происходит в полуавтоматическом цикле.

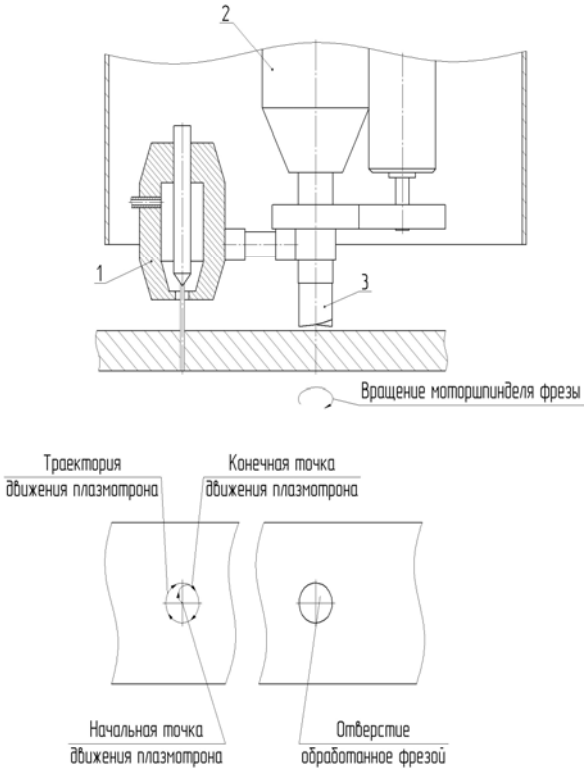


Рис. 2. Обработка отверстий: 1 – плазмотрон; 2 – моторшпиндель; 3 – концевая фреза

Данный процесс планируется применить на ВС ЗМК (г. Назарово, Красноярский край).

Список литературы

1. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / А.Н. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников / под общ. ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ШЛИФОВАНИЯ

Ломова О.С., Захаров С.Е.

Научный руководитель: Шалай В.В., д.т.н., профессор

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: se.zaharov@gmail.com

Изготовление высокоточных деталей достигается применением приборов активного контроля, за счет которых появляется возможность управления процессом при совмещении измерения с обработкой. Наибольшее распространение средства активного контроля получили на станках шлифовальной группы вследствие простоты, надежности и способности контролировать не только размер, но и геометрическую форму детали непосредственно в процессе обработки. Повышение точности обработки при активном контроле происходит в результате замены длинных размерных цепей шлифовального станка более короткими цепями приборов, полного или частичного исключения износа шлифовального круга, тепловых и силовых деформаций шлифовальной бабки, станины станка

и инструмента, а также благодаря использованию в качестве управляющей информации текущего размера обрабатываемой детали.

Как процессы обработки, так и процессы контроля непрерывно совершенствуют, разрабатывают и внедряют новые, более прогрессивные методы контроля и измерения деталей. Развиваются статические методы контроля, неразрушающий и активный контроль деталей, механизация и автоматизация контрольных операций. В то же время в обрабатывающих и сборочных цехах предприятий выполняют большое количество измерений обрабатываемых и готовых деталей. По результатам измерений принимают решение о годности детали или изделия в целом.

Применение приборов активного контроля размеров может обеспечить финишную обработку деталей с большим резервом точности (до 80% поля допуска). Однако необходимо заметить, что прибор контролирует диаметр в одном сечении, но вследствие некруглости реальной поверхности диаметр может изменять свои значения от D_{min} до D_{max} (рис. 1). Учитывая инерционность системы следует ожидать, что фактически прибор будет выдавать на выходе некоторое среднее значение диаметра $D_{ср}$, которое будет восприниматься как результат измерения D_u. Кроме того, деталь имеет отклонения продольного профиля и это означает, что диаметры по краям детали D_1 и D_2 также будут отличаться от результата измерения. Следовательно, погрешность обработки будет зависеть не только от погрешности результата измерения, но и от разностей $D_u - D_1$, $D_u - D_2$, $D_u - D_{max.}$, которые одновременно характеризуют величину отклонения формы.

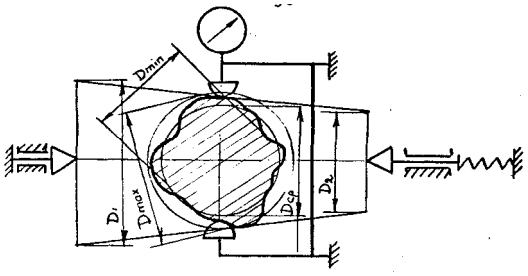


Рис. 1. Схема измерения диаметра реальной цилиндрической детали прибором активного контроля

Например, погрешность среднего диаметра детали в контролируемом сечении 1, обрабатываемой на круглошлифовальном станке модели 3А151 с прибором активного контроля БВ-6060 не превышает 3 мкм. В то же время в сечении 2, отстоящем на расстоянии 30 мм от контролируемого сечения, рассеивание среднего диаметра достигло 12 мкм (рис. 2).

Это говорит о том, что резерв точности относится только к контролируемому сечению, а на всей длине детали от него остается 10% и меньше. Такую разницу можно объяснить отклонением формы обрабатываемых деталей (рис. 3), например, конусообразностью.

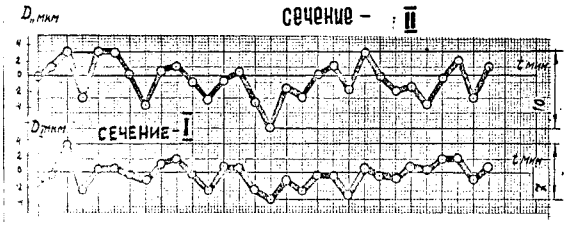


Рис. 2. График рассеивания размеров в двух сечениях обработанной поверхности

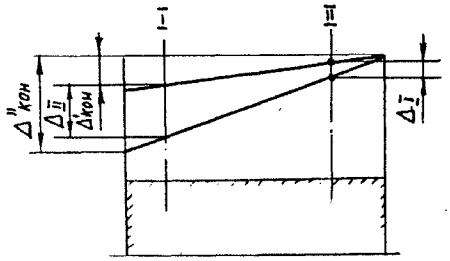


Рис. 3. Влияние конусообразности на рассеивание размеров в различных поперечных сечениях цилиндрической детали

Повышение точности обработки при активном контроле можно осуществить за счёт рационального выбора линии измерения. Погрешность схемы измерения с приборами зависит от смещения оси детали относительно прибора под действием сил резания вследствие упругих деформаций, наличия зазоров в задней и передней бабках. Однако если направление смещения оси детали может быть точно установлено, то точность измерения приборами можно значительно повысить путём совмещения линии измерения с плоскостью, перпендикулярной вектору смещения. Направление вектора смещения δ оси вращения детали определяется вектором результирующей силы резания P. В практике исследования сил резания установилось разделение результирующей силы на радиальную P_y и тангенциальную P_Z составляющие. Поэтому направление смещения оси вращения детали можно найти из выражения:

$$ctg\alpha = \frac{P_Y}{P_Z}$$

где α – угол между направлением действия результирующей силы и радиальной составляющей силы резания.

Таким образом, направление смещения оси детали, в основном, зависит от отношения радиальной и тангенциальной составляющих сил резания $\frac{P_Y}{P_Z}$, получившего название коэффициента шлифования C. Величина коэффициента шлифования не остается постоянной даже при одних и тех же режимах резания из-за затупления шлифовального круга. Зависимость составляющих сил резания от изменения скорости шлифования, величины подачи шлифовального круга и глубины резания приводят к тому, что величина коэффициента шлифования C может колебаться в пределах C = 1,5...3 [1]. Это значит, что угол вектора смещения оси враще-

ния детали может изменяться и составлять 17°...32°. Если среднее значение этого угла выдержать в схеме прибора, то возможное отклонение угла составит $\Delta\alpha = 6 \pm 7°30$, а погрешность измерения Δ можно определить по формуле:

$$\Delta = \delta tg\Delta\alpha$$

где δ – модуль вектора смещения оси вращения детали.

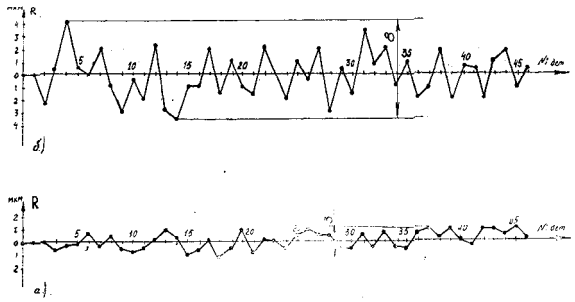


Рис. 4. Графики рассеивания размеров при обработке методом врезания: а) линия измерения расположена по вертикали б) линия измерения расположена под углом 20°к горизонтам

Для определения влияния положения линии измерения на точность активного контроля было произведено шлифование двух партий деталей. При шлифовании первой партии деталей линия измерения была перпендикулярна вектору смещения оси вращения и составляла угол 20° к вертикали, при шлифовании второй партии деталей линия измерения была параллельна вектору смещения оси вращения детали.

На графике (рис. 4 *а, б*) представлен характер изменения радиусов прошлифованных деталей первой и второй партий. Для первой партии прошлифованных деталей рассеивание радиусов не превышает 2 мкм (рис. 4 *а*), для второй партии (рис. 4 *б*) это рассеивание достигает 8 мкм [2].

Таким образом, для уменьшения влияния смещений оси детали на точность измерения прибором активного контроля линию измерения следует располагать перпендикулярно вектору смещения оси вращения детали, то есть под углом 20° к вертикальной оси. Для уменьшения рассеивания размеров контролируемое сечение необходимо выбирать в середине обрабатываемой поверхности детали. Выбор линии измерения позволит, в целом, повысить точность обработки деталей за счёт исключения влияния силовых деформаций технологической системы.

Список литературы

1. Волосов С.С. Основы технологии активного контроля размеров. – М.: Машиностроение, 1969. – 211 с.
2. Ломов С.М., Ломова О.С., Макаренко В.В. Обеспечение точности размеров формы прецензионных деталей при круглом шлифовании в центрах // Технология машиностроения – М., 2007 – №2 – С. 14–16.

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ 40Х ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПОТОКОМ В БЕЗВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Малахов А.А., Гончаренко И.М.

Научный руководитель: Гончаренко И.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Anton.zeit@gmail.com

Одной из важных и актуальных проблем современного машиностроения является проблема изнашивания поверхностей деталей машин. Существует большое количество методов, позволяющих замедлить течение процессов изнашивания: материаловедческие, технологические, конструктивные и эксплуатационные.

Перспективным способом повышения эксплуатационных характеристик материалов является химико-термическая обработка поверхностей готовых изделий [1]. В частности, азотирование – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя сталей и сплавов азотом при нагревании в азотосодержащей среде.

Существует несколько методов насыщения поверхностных слоев деталей азотом. «Традиционными» являются газовое азотирование, азотирование в жидких средах, в тлеющем и других видах разряда. Одним из перспективных [1, 2] методов азотирования является ионно-плазменное азотирование. Этот процесс отвечает большинству современных требований и оценивается как высокопроизводительный, высокоэффективный, материало- и энергосберегающий, экологически чистый способ ХТО [2]. Ионно-плазменное азотирование представляет собой процесс термохимического насыщения азотом стальных поверхностей, в плазме электрических газовых разрядов [3].

Целью данной работы является установление закономерностей протекания процессов азотирования стали 40Х в дуговом разряде низкого давления в зависимости от частоты отрицательного импульсного смещения, подаваемого на обрабатываемые детали.

В качестве исследуемого материала была выбрана конструкционная малолегированная сталь 40Х. Образцы представляли собой цилиндры, имеющие диаметр 20 мм и высоту 10 мм. Перед

процессом верхний торец образца обрабатывался до высокой чистоты поверхности (Ra=0,02).

Азотирование образцов проводилось на вакуумной ионно-плазменной установке. Технологический модуль установки состоит из вакуумной камеры, источников плазмы с накалённым катодом, вакуумной системы, систем подачи воды и напуска газа, привода вращения стола и автоматизированной системы управления.

Плазменный источник с накалённым катодом представляет собой плазмогенератор на основе несамостоятельного газового разряда без катодного пятна.

Технологический процесс азотирования с помощью описанного выше оборудования, отличается от известных способов и состоит из двух стадий: нагрева и очистки образцов в аргоновой плазме и непосредственно азотирования в плазме на основе азота.

После установки образца в вакуумную камеру и получения предельного давления в диапазоне 10^{-3} Па, напускался рабочий газ (аргон) до давления 0,6 Па и зажигался несамостоятельный дуговой разряд. На детали подаётся отрицательное смещение и положительные ионы аргона, поступая на поверхность, очищают её от адсорбированных газов и микрозагрязнений, оставшихся после предварительной обработки образцов и нагревают до температуры процесса. На второй стадии происходит замена рабочего газа на азот.

В процессе может применяться как стационарный, так и импульсно-частотный потенциал смещения. В данной работе исследовался импульсный режим.

Для изучения влияния величины частоты отрицательного смещения, в течение экспериментов такие параметры, как давление, величина тока разряда, время обработки, оставались постоянными. Процессы отличались лишь величина частоты: от DC до 50 кГц. Температура процессов поддерживалась около 540 ºС. Время процесса азотирования составляло один час.

Было проведено четыре основных эксперимента: с постоянными отрицательным смещением; с импульсным смещением с частотой 10; 50 кГц.

Для исследования азотированных образцов использовались методы оптической металлографии и измерения распределения микротвёрдости по глубине. Азотированный слой является многокомпонентным и применение только оптической металлографии не позволяет целиком выявить картину распределения твёрдости по глубине.

Нанесение отпечатков для последующих измерений в ПО AxioVision Rel. 4.8, проводились на микротвердомере ПМТ-3. Нагрузка составляла 0,49 Н (50 г); время выдержки – 10 с. Первый отпечаток ставился на расстоянии 20 мкм от обработанной поверхности. Каждая серия содержит 15 отпечатков. Для повышения точности получаемых результатов количество серий отпечатков, приходящееся на каждый образец увеличено до пяти.

Полученные «сетки» отпечатков изучались и фотографировались с помощью металлографического микроскопа Observer.A1m (Carl Zeiss) и цифровой камеры AxioCam MRc5 (Carl Zeiss) соответственно. Для удобства измерений и представления полученных снимков, сетки снимались при увеличении x200.

При подготовке шлифов, в качестве травителя использовался четырёхпроцентный раствор азотной кислоты HNO_3. Изучение образцов велось при увеличениях x200 и x500.

По измерениям микротвёрдости получен ряд графиков, иллюстрирующих распределение твёрдости в зависимости от расстояния до азотированной поверхности и параметров режима обработки. На рис. 1 можно видеть изображения протравленных шлифов трёх образцов, обработанных при постоянном импульсном смещении; частотах 10 кГц и 50 кГц.

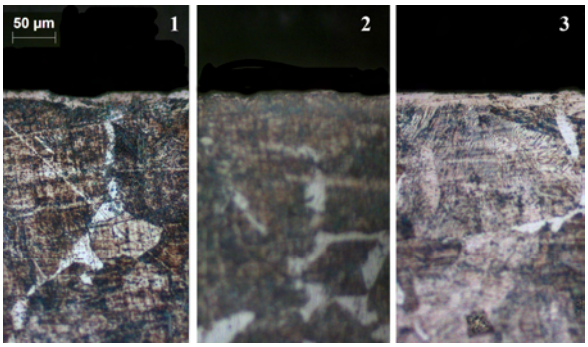


Рис. 1. Фотографии поверхностных зон: 1) частота импульсного смещения 50 кГц; 2) частота 10 кГц; 3) постоянное импульсное смещение, D;.

Видно, что структура приповерхностной зоны на всех трёх фотографиях отличается, несмотря на то, что время и температура процессов были одинаковыми.

На образце, обработанном при смещении 10 кГц, не обнаруживается нитридная фаза Fe_4N. Значения толщины данной фазы при обработке в стационарном режиме и с частотой 50 кГц также отличаются. При стационарном режиме эта фаза имеет наибольшую протяженность.

Следует заметить, что во время азотирования при частоте 1 кГц, температуру не удалось поднять до 500 ºС. Поэтому, для того, чтобы иметь право сравнивать образцы (обеспечить правомочность такого сравнения), при частоте 10 кГц был проведён дополнительный эксперимент, при котором ток разряда был увеличен до 120 А, что позволило довести температуру до 540 ºС.

Как было замечено выше, протяженность зоны твёрдого раствора азота в железе металлографически не выявляется, поэтому был использован метод измерения микротвёрдости. На рис. 2 представлено распределение микротвёрдости для трёх образцов.

Видно, что при частоте 10 кГц общая протяжённость упрочнённого слоя максимальна; твёрдость несколько выше, по сравнению с использо-

ванием стационарного смещения и смещения с частотой 50 кГц. Вероятно, что весь азот, которого мы не наблюдаем в виде фазы Fe_4N, перераспределился в твёрдую фазу и повысил её протяжённость и твёрдость.

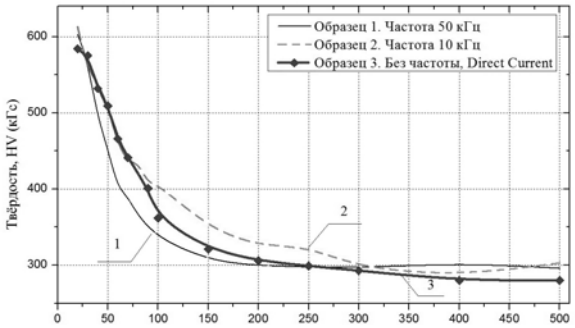


Рис. 2. Значения, полученные измерением микротвердости поверхностных слоёв образцов

По результатам работы был выявлен ряд закономерностей. В частности, с помощью параметра частоты отрицательного импульсного смещения можно целенаправленно влиять на свойства получаемых азотированных слоёв; как на параметры зоны внешнего, так и внутреннего азотирования. В частности, интерес представляет управление интенсивностью процессов катодного распыления и возможность проведения ступенчатых процессов (с разной частотой смещения) для целенаправленного изменения свойств.

Итогом проделанной работы стали следующие выводы.

Показана принципиальная возможность целенаправленного изменения свойств получаемых азотированных слоёв варьированием величины отрицательного импульсного смещения.

Существует некоторая величина частоты отрицательного импульсного смещения, позволяющая эффективно и целенаправленно формировать зону внутреннего азотирования. Частота порядка 50 кГц и выше скорее всего приемлемы в не случае диффузионного насыщения поверхностей азотом, а в случае очистки поверхности перед последующим насыщением.

Необходима дальнейшая работа по установлению механизмов работы данных явлений и оптимизации параметров процессов в зависимости от свойств конечного слоя.

Список литературы

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с. – ISBN 5-7038-1358-1.
2. Технологические возможности ионного азотирования в упрочнении режущего и штампового инструмента. М.Н. Босяков, С.В. Бондаренко, Д.В. Жук, П.А. Матусевич. По материалам http://ipa.avihold.com
3. Металловедение и термическая обработка металлов. №4. 2001. «Развитие азотирования в России. Четвёртый период (1980 – н.в.): новые направления развития НХТО».

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИАФРАГМЕННОГО ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА

Манеев А.С.

Научный руководитель: Некрасова Т.В., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: antonio88@sibmail.com

Точность является важнейшей характеристикой качества большинства изделий машиностроения и приборостроения, т. к. повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает долговечность и надежность эксплуатации механизмов и машин. Современные мощные и высокоскоростные машины требуют высокого качества исполнения их узлов, т. к. отклонения и погрешности изготовления приводят к возникновению дополнительных динамических нагрузок и вибраций, нарушающих нормальную работу машин и вызывающих их разрушение. Этим объясняется непрерывное ужесточение требований к точности изготовления деталей и машин в целом.

Под точностью детали понимается ее соответствие требованиям чертежа: по размерам; отсутствию грубых отклонений от заданной геометрической формы; правильности взаимного расположения обрабатываемых поверхностей в зажимных устройствах, приспособлениях станка; а также по степени шероховатости поверхности, получаемой в процессе обработки детали.

К основным причинам возникновения погрешностей обработки на токарных станках, влияющих на точность готового изделия можно отнести – недостаточную точность и жесткость станка; неточность изготовления и недостаточную жесткость режущего и вспомогательного инструмента; погрешности установки заготовки на станке и ее деформация при зажиме или под действием усилий резания и нагрева, погрешности в процессе измерения и др. Всю сумму данных погрешностей можно минимизировать с помощью станочных приспособлений.

Следует обратить внимание, на то, что в рабочих узлах машин находят свое широкое примене-

ние такие детали, обработка которых представляет определенную трудность. К таким деталям следует отнести огромный ряд тонкостенных деталей таких, как стаканы, венцы зубчатых колес, кольца подшипников и т. д., при обработке которых возникает проблема закрепления без упругих деформаций, которые порождают погрешность формы обработанных деталей (рис. 1)

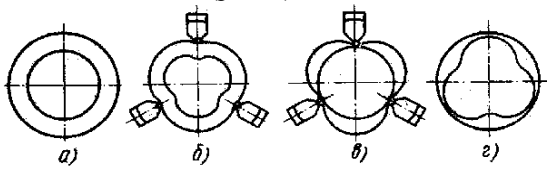


Рис. 1 изменение формы кольца при закреплении его в трехкулачковом патроне:
а) – заготовка до установки на станке,
б) – после закрепления в трехкулачковом патроне,
в) – после обработки, г) – после снятия со станка

Для решения этой проблемы были разработаны диафрагменные зажимные патроны. Разработке патронов диафрагменного типа предшествовала разработка диафрагменного пневмоприжима для разрезки труб (рис. 2).

Диафрагменный пневмоприжим состоит из корпуса, губок 2 с направляющими, стальных рычагов 1 (двух больших и двух малых), плоской диафрагмы 3, в качестве которой используют один или два слоя листовой резины (в зависимости от ее толщины), штока 4 и возвратной пружины 5.

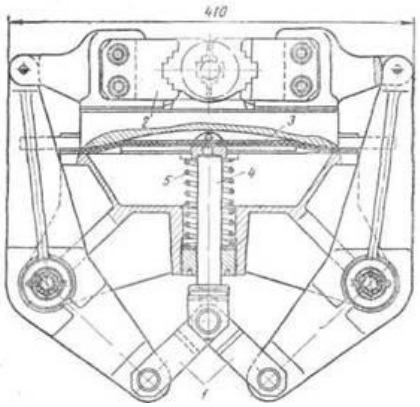


Рис. 2 Диафрагменный пневмоприжим

Зажатие детали в данном устройстве осуществляется путем подачи в привод сжатого воздуха под рабочим давлением 0,4 МПа, а освобождают – с помощью пружины после сброса сжатого воздуха в атмосферу. Усилие возвратной пружины, т. е. раскрытие губок, регулируют круглой гайкой, ввернутой в нижнюю часть корпуса пневмокамеры.

К сожалению, данный диафрагменный пневмоприжим, исключает возможность его использования без изменения конструкции на токарных станках с ЧПУ и полуавтоматах из-за своей громоздкой конструкции, и невозможности согласовать рабочие органы данного устройства с существующими органами зажимных устройств на данном оборудовании.

Для повышения точности и производительности изготовления сложных тонкостенных деталей, на станках с ЧПУ и автоматах, используют быстросменные зажимные устройства со встроенной диафрагмой (рис. 3).

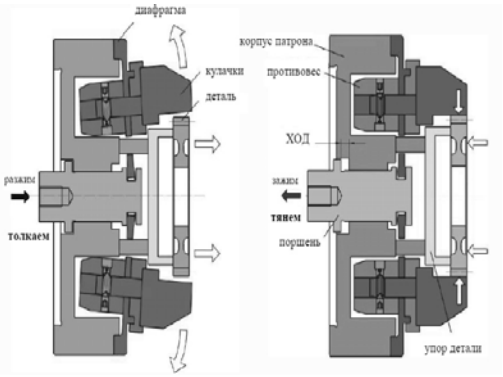


Рис. 3. Зажимное устройство диафрагменного типа

Диафрагменный патрон состоит из корпуса, поршня, диафрагмы, упора детали и кулачков. Зажатие в этом устройстве осуществляется путем передвижения поршня влево, при этом с помощью диафрагмы кулачки сжимаются тем самым зажимая деталь равномерно и прижимая ее к упору. Разжатие происходит при движении поршня вправо.

К преимуществам данного быстросменного зажимного устройства следует отнести: осуществление достаточного усилия зажима, при малом ходе рабочего поршня; обеспечение равномерного обжатия заготовки по поверхности; жесткость системы; отсутствие трения; возможность компенсации центробежных сил; отсутствие необходимости в частом ремонте, из-за герметичности патрона; универсальность конструкции для использования на роботизированных станках.

Основные характеристики устройства:

- существенное повышение жесткости оборудования;
- точность повторяемости в пределах 0,01 мм;
- быстрая смена без какой-либо дополнительной настройки;
- высокая точность центровки по начальной окружности детали;
- высокая скорость вращения;
- возможность обработки наружного конуса благодаря убирающимся зажимным планкам;
- контроль наличия детали и ряд других.

Зажимное устройство диафрагменного типа предназначено для токарной обработки деталей повышенной твердости, шлифования отверстий, шевингования и обработки наружных конусов зубчатых колес.

Список литературы

1. Маталин А.А. «Технология машиностроения» – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.
2. Балакшин Б.С. «Основы технологии машиностроения». – М.: Машиностроение, 1966. – 556 с.
3. Ансеров М.А. «Приспособления для металлорежущих станков», М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 652 с. с илл.
4. Справочник «Технологичность конструкций» / под. ред. С.Л. Ананьева. – М.: Машиностроение, 1969. – 423 с.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ САПР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Оголь И.И.

Научный руководитель: Петрушин С.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ilyao@tpu.ru

В связи с появлением и широким использованием современного сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами (СМП), всё чаще встаёт вопрос проектирования такого инструмента под специальные условия и задачи, а также выбор среди существующего инструмента наиболее соответствующего существующим условиям обработки. Проектирование сборных режущих инструментов с СМП, на сегодняшний день, ведётся, как правило, с использованием САПР общего назначения. Применение стандартного инструмента заставляет инженера опираться исключительно на свой опыт и выполнять большой объём расчётов вручную, что значительно повышает время проектирования.[1]

Разработка специализированной САПР сборного режущего инструмента позволило бы значительно сократить сроки технической подготовки производства и автоматизировать проектные расчёты.

Для создания такого рода САПР необходимо выполнить ряд задач: разработать структурную схему САПР, разработать блоки САПР для проектирования специального и выбора стандартного инструмента, спроектировать набор тестовых инструментов для проверки адекватности результатов работы разработанной САПР.

Сейчас существует две САПР, предназначенных для проектирования специального инструмента – САПР инструмента, выполненная институтом СТАНКИН на базе T-Flex CAD, компании ТопСистемы и САПР Фрез, разработанный ООО «Центр САПР» (г.Львов) в сотрудничестве с Львовским инструментальным заводом на базе системы КОМПАС. Данные системы позволяют проектировать фрезы, свёрла, развёртки и другие инструменты, путём задания параметров инструмента (длина, диаметр режущей части и т. д.), и его конфигурации (вид заточки режущей части, форму хвостовика, число режущих зубьев, направление и форму стружечных канавок и т. д.). Затем, после ввода параметров, система высчитывает необходимые недостающие значения и соответствующим образом формирует новый чертёж на основании чертежа-прототипа. Данные системы предназначены для цельного инструмента и не позволяют проектировать сборный инструмент с СМП.

Для выбора стандартного инструмента существует система OmegaProduction, компании OmegaSoftware [2]. Она позволяет в диалоговом режиме подобрать подходящие СМП под имеющиеся условия и рассчитать режимы резания, однако она также неприспособленна для проектирования.

Сегодня, когда существуют математические модели для различного вида режущего инструмента с СМП возможно создать современную специализированную САПР, позволяющую в короткие сроки проектировать специальные резцы, фрезы, свёрла и другой инструмент с СМП.

В качестве первых шагов создания такой САПР сформировано техническое задание и выполнено эскизное проектирование будущей САПР, которое включает в себя [3]:

- выявление процесса проектирования (его алгоритм), т. е. принятие основных технических решений;
- разработка структуры САПР и ее взаимосвязи с другими системами (определение состава проектных процедур и операции по подсистемам, уточнение состава подсистем и взаимосвязи между ними, разработка схемы функционирования САПР в целом);
- определение состава методов, математических моделей для проектных операций и процедур, состава языков проектирования, состава информации (объем, способы ее организации и виды машинных носителей информации), состава общего, специализированного общего и специального программного обеспечения;
- формирование состава технических средств (ЭВМ периферийные устройства и другие элементы);
- принятие решений по математическому, информационному, программному и техническому видам обеспечения по САПР в целом и отдельно по подсистемам;
- расчет технико-экономических показателей САПР.

Важнейшим шагом является создание структурной схемы САПР, её архитектуры, так как вся дальнейшая разработка будет опираться именно на неё. Необходимая структура должна учитывать расширяемость системы, её гибкость, возможность, в дальнейшем, добавлять в неё блоки проектирования дополнительных инструментов, блоки анализа полученных инструментов, а также стандартный инструмент уже без вмешательства программиста. Выбор структуры САПР непосредственно опирается на изучение процесса проектирования, формализация и построения его модели.

Выбор способов и структуры хранения информации, а также используемые алгоритмы обработки данных должны обеспечивать необходимое быстродействие, так как использование созданных математических моделей сопряжёно с рядом вычислительных задач, которые необходимо выполнять за приемлемое время.

Реализация САПР возможна в трех основных вариантах:

1. Приложение, подготавливающее на основании инженерных расчётов документацию в переносимом формате. Отображение чертежей и 3D моделей осуществляется в САПР общего назначения.

2. Модуль, расширяющий инструментарий стандартной САПР общего назначения и использующий средства отображения моделей и чертежей этой САПР.

3. Как самостоятельное приложение, не зависящее от других САПР.

Каждый из этих вариантов обладает как достоинствами, так и недостатками. Первый вариант не обеспечивает непрерывного процесса проектирования и полноценной связи между расчётами, математической моделью и графическим представлением этой модели, что является большим неудобством для конечного пользователя. Почти все современные САПР обладают средствами, позволяющими встраивать в их функционал любые расчётные и графические модули с возможностью их тесной интеграции со средствами САПР. Такой подход позволяет разгрузить разработчика от создания некоторых подсистем САПР, однако ставит его в зависимость от конкретной системы. Третий подход является наиболее гибким, однако, и наиболее трудоёмким. Разработчику требуется программировать в полном объёме все основные подсистемы, в частности графическую подсистему, что само по себе является ресурсоёмкой задачей.

Опыт зарубежных разработчиков различных специализированных САПР говорит о том, что наиболее перспективным и оптимальным, с точки зрения трудозатрат, качества и времени разработки является метод разработки расширяющих модулей. Наиболее распространенными в машиностроительной отрасли России САПР являются САПР компании АСКОН и Autodesk. Обе этих системы, как и многие другие, обладают встроенным интерфейсом прикладного программирования (иногда: интерфейс программирования приложений) (англ. Application Programming Interface, API) – набором готовых классов, функций, структур и констант, предоставляемых приложением (библиотекой, сервисом) для использования во внешних программных продуктах.

Благодаря использованию API возможно создавать гибкие приложения, использующие функции САПР: вывод на экран, формирование чертежей, использование стандартных изделий, инженерные расчёты и пр. При этом взаимодействие модуля и САПР обеспечивается программными средствами и не создаёт трудностей для конечного пользователя. Единственное, что нужно обеспечить – это общность структур данных модуля и САПР. Ограничение по использованию только одной САПР можно снять, используя единое ядро, выполняющее операции с математической моделью, которое подготавливает данные для вывода и дальнейшей обработки данных в САПР и несколько модулей-интерфейсов для различных САПР, обеспечивающих преобразование данных к структурам этих САПР и использующее соответствующие функции API.

Список литературы

1. Бобрович И.М. Компьютерное моделирование токарных резцов с равнопрочными многогранными пластинами: диссерт. на соискание уч. степени канд. техн. наук / И.М. Бобрович; Томский политехнический университет. – Томск, 1998. – 172 л.
2. Журнал «САПР и ГРАФИКА». Номер № 4, апрель 2007.
3. Петров А.В. Проблемы и принципы создание САПР. – М., 1990.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА АВТОМОБИЛЯ HONDA ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ

Опалев А.Э., Шишкова Н.В.

Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: opalev@tpu.ru

Работоспособность существующих механических узлов и механизмов определяется предельным износом трущихся деталей в этих узлах и механизмах. При этом относительные размеры износа весьма малы, но величина износа приводит к выходу из строя механизма или машины в целом. Этим определяется и совокупный экономический эффект, связанный с упрочнением трущихся поверхностей [1].

В настоящее время считается наиболее перспективным локальное упрочнение отдельных поверхностей узлов, непосредственно подверженных износу. Это позволяет создать оптимальные условия в области соприкосновения трущихся деталей при сохранении требуемых характеристик остальных частей узлов и деталей.

При эксплуатации коленчатого вала участками подверженными износу являются коренные и шатунные шейки.

Большинство современных коленчатых валов изготавливают литьём из высокопрочного чугуна. Реже, если нужна большая прочность, применяют стальные кованые валы. Полученная тем или иным способом заготовка проходит механическую обработку до номинальных размеров, после чего подвергается дополнительному упрочнению. Поверхности шеек коленчатого вала обрабатываются с помощью химического упрочнения при нагреве, а края шеек скругляются, чтобы повысить прочность и сопротивление усталостному разрушению.

В нашей работе, для изучения передового опыта технологически развитых стран, в частности Японии, был проведен анализ строения шейки коленчатого вала автомобиля Honda после окончания срока службы. Для реализации поставленной цели, решались следующие задачи: исследование химического и фазового состава стали шейки вала и его поверхностного слоя, проведение микроструктурных исследований, определение механических свойств на поверхности шейки вала.

Исследуемые образцы в виде сегментов были вырезаны из коренной шейки вала (рис. 1). Исследовалась внешняя трущаяся и внутренняя поверхность образцов. Элементный состав стали и поверхностного слоя определялся оптикоэмиссионным, оптическим химико-спектральным, энергодисперсионным рентгеновским и рентгенофлуоресцентным анализом. Фазовый состав оценивался рентгеноструктурным анализом. Оптическая металлография проводилась на косых шлифах после травления 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Механические свойства оценивались по значениям твердости по Виккерсу и микротвердости.



Рис. 1. Фотография части коленчатого вала и шейки вала с вырезанным сегментом

Результаты спектрального анализа показали, что исследуемая сталь относится к конструкционным сталям легированным хромом, марганцем и молибденом (табл. 1).

Интернет поиск показал, что такой состав имеет сталь японского производства марки SCM440H (стандарт JIS G 4105) [2]. Самым близким аналогом из российских сталей является сталь марки 38ХМА (ГОСТ 4543-71) [3]. Данные о составе стали приведены в табл. 2.

Таблица 1

Элементный состав исследуемой стали

Элемент	Метод анализа			
	1*	2*	3*	4*
C	0,46–0,47	0,35	–	–
Cr	0,9–1	0,92	1,55	0,96
Mn	0,8–0,9	0,86	1,11	0,92
Mo	0,2–0,3	0,14	–	0,15
Si	<1	0,22	–	0,22
Ni	–	0,05	–	0,06
Cu	–	0,12	–	0,15
Fe	>96,5	97,3	97,2	97,5

**Примечание*: 1) оптический химико-спектральный анализ; 2) оптикоэмиссионный анализ; 3) энергодисперсионный рентгеновский анализ; 4) рентгенофлуорецентный анализ.

Таблица 2

Справочный состав конструкционной стали

Элемент	Марка стали	
	SCM440H (Япония)	38ХМА (Россия)
C	0,37–0,44	0,35–0,42
Cr	0,85–1,25	0,9–1,3
Mn	0,55–0,90	0,35–0,65
Mo	0,15–0,30	0,2–0,3
Si	0,15–0,35	0,17–0,37
Ni	<0,25	–
Cu	<0,30	–
P	<0,030	<0,025
S	<0,030	<0,025

Рентгеноструктурный анализ показал, что сталь имеет следующий фазовый состав: α-Fe (феррит) и карбид железа Fe_3C (цементит). Металлографический анализ показал, что структура стали – сорбит со структурными элементами пластинчатого строения. Обычно такая структура формируется после нормализации (рис. 2).

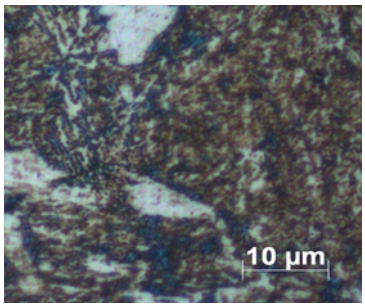


Рис. 2. Структура стали

По справочным данным нормализацию данной стали проводят от 830–870 ºС с охлаждением на воздухе [2]. Твердость стали соответствует данному виду термообработки и составляет 324 HV.

Исследование поверхностного слоя выполнялось в следующей последовательности. С помощью энергодисперсионного рентгеновского анализа был определен элементный состав поверхностного слоя. Он показал, что на поверхности шейки вала присутствует 10,6 вес. % кислорода и 5,6 вес. % азота. Наличие кислорода на поверхности шейки вала объясняется адсорбцией этого элемента в поверх-

ность при трении, а наличие азота – существованием на поверхности шейки вала азотированного слоя, полученного при химико-термической обработке. Для подтверждения этих данных был проведен рентгеноструктурный анализ, показавший наличие в поверхностном слое стали нитридных фаз: Fe_4N, Fe_3N и FeN.

Металлографический анализ показал, что в поперечном сечении поверхностный слой шейки вала имеет следующее строение (рис. 3).

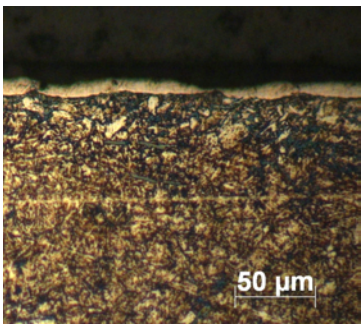


Рис. 3. Структура поверхностного слоя

На поверхности присутствует не вытравленный тонкий слой нитридных фаз толщиной 10 мкм. Далее мы наблюдаем исходную структуру стали.

Измерение микротвердости в поперечном сечении образца показали, что глубина упрочненного слоя составляет около 300 мкм (рис. 4). Значит, азотированный слой имеет такую глубину, но не заметен на оптической фотографии микроструктуры.

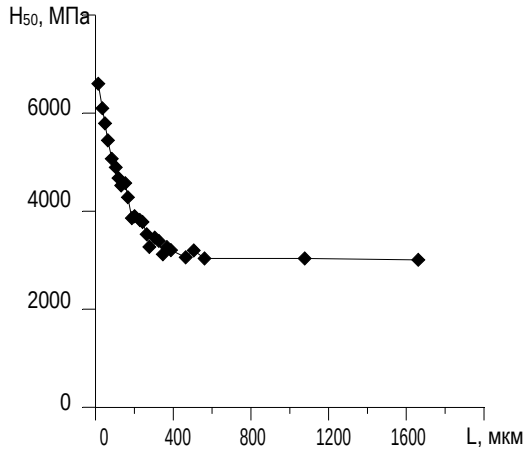


Рис. 4. Значения микротвердости в поперечном сечении исследуемого образца

На поверхности шейки вала микротвердость составляет 9670 МПа, а твердость 616 HV.

Мы исследуем шейку вала после окончания срока службы, то есть после износа. Поэтому можно сказать, что износ происходил за счет нетравящегося азотированного слоя, а толщина этого слоя превышала допускаемую глубину износа шейки коленчатого вала.

Список литературы

1. Крагельский И.В. Узлы трения машин: справочник – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
2. Сайт www/gmtc.com.tw.
3. Марочник сталей и сплавов / под ред. В.Г. Сорокина – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУНТОРАЗРУШАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ

Прохоренко Н.Э., Пудов Е.Ю.,

Руководитель: Малышкин Д.А. – к.т.н..

Филиал ГУ «Кузбасский государственный технический университет» в г. Прокопьевске, 653033, Россия, г. Прокопьевск, ул. Институтская, 19А
E-mail: pudov_evgen@mail.ru

На угледобывающих разрезах Кузбасса на замену экскавационной технике, отработавшей свой эксплуатационный ресурс, все чаще приходят гидравлические экскаваторы типа прямая и обратная лопата. При этом исполнительные органы экскаваторов ведущих мировых производителей (LIEBHERR, HITACHI, CATERPILLAR) зачастую оснащаются системой винтового крепления зуба к адаптеру «SUPER V» (схематично представленной на рис. 1), превосходящей другие часто используемые системы адаптерных узлов по ряду прочностных и надежностных характеристик. В случае проведения ремонтно-восстановительных работ адаптерные узлы и отдельные комплектующие поставляются либо напрямую с завода-производителя иностранной техники, либо через организации-посредники, занимающиеся поставками от тех же производителей, что негативно сказывается на экономии денежных средств заказчика. Актуальность в обеспечении угледобывающих разрезов Кузбасса подобного рода комплектующими вызывает большой интерес к исследованию, разработке и внедрению в производственный процесс технологии изготовления винтовых адаптеров с системой крепления «SUPER V».

Моделирование методом конечных элементов с помощью среды АРМ WinMachine позволило получить картину напряженно-деформированного

состояния адаптерных узлов. При воздействии предельной прямолинейной равномерной нагрузки на зуб получаем результаты, подтверждающие сформировавшееся ранее представление об особенностях конструктивных решений и свидетельствующих о значительных преимуществах винтового типа адаптера.

Винтовой адаптер представляет собой поверхность пространственно-сложной формы, которая имеет значительное количество трудных в плане обработки переходов. На машиностроительных предприятиях Кемеровской области на данный момент времени пока не освоено производство данного рода винтовых адаптеров. Поэтому внедрение и освоение данного производства в условиях города Прокопьевска является задачей актуальной и своевременной. Основным технологическим оборудованием для получения объемных деталей сложной формы являются станки с ЧПУ.

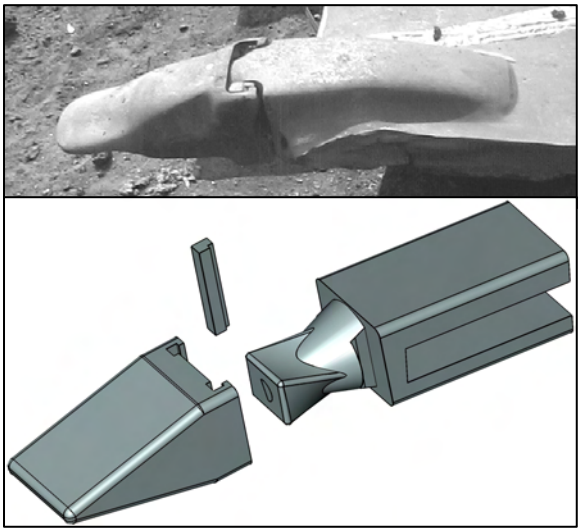


Рис. 1

На базе филиала Кузбасского государственного технического университета в городе Прокопьевске создана научно-исследовательская лаборатория, которая может послужить испытательной и производственно-внедренческой базой данного вида продукции. Она оснащена вертикально-фрезерным станком EQUIPTOP ETM – 510 с системой ЧПУ FANUC 0i-MB с возможностью 3D обработки.

В качестве заготовки для обработки может послужить стандартный круглый или прямоугольный профиль, либо специально изготовленная поковка, что благоприятно сказывается на экономии материала, уменьшении времени обработки и затрат на инструмент.

Кованые заготовки адаптеров могут быть получены в условиях ООО «Подземтрансмаш» (г. Прокопьевск), имеющего опыт в изготовлении подобного вида продукции.

Наряду с адаптерами «SUPER V», возможно изготовление и других типов, что приведет лишь к упрощению технологии их механической обработки.

Ряд исследований, проведенных в данном направлении, показывает, что исходный, либо приобретенный в результате эксплуатации зазор между посадочными поверхностями адаптера и зуба негативно сказывается на надежности и долговечности соединения. Выводом этого может служить необходимость в получении посадочных поверхностей элементов адаптерного узла с достаточно высокой точностью, что позволяет предложенная технология. На рис. 2 приведен пример моделирования обработки винтового адаптера на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ с использованием программы SprutCAM.

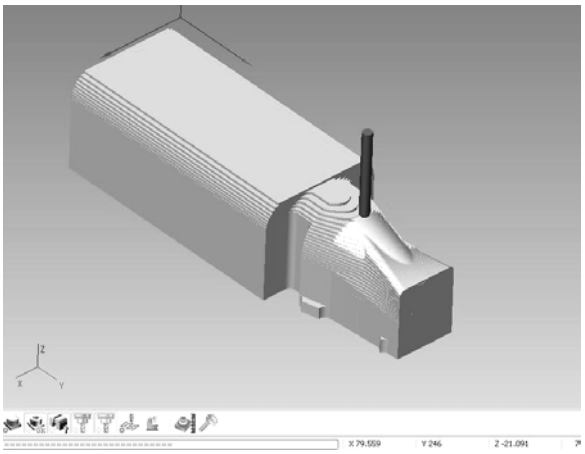


Рис. 2.

Качественная механическая обработка адаптера на станке с ЧПУ требует наличия оснастки, адаптированной конструктивно и выполненной с высокой точностью, что требует дополнительных затрат.

На территории Кемеровской области находятся более 20 крупных разрезов (Бачатский, Кедровский, Сибиргинский, Междуречье и др.) – потенциальных заказчиков, в состав экскавационного парка каждого из которых входит от 5 до 20 интересующих единиц техники. Ежегодно, взамен списываемой технике, приобретается не менее 20 единиц новых машин. Каждой из них согласно статистическим данным ежегодно требуется замена 12–18 единиц интересующих грунторазрушающих элементов (адаптер, сменная коронка)

Авторами было составлено экономическое обоснование эффективности производства винтовых адаптеров для гидравлических экскаваторов с ковшом вместимостью 16 м^3. С учетом первоначальных капиталовложений, постоянных прямых издержек и при уровне сбыта от 30 единиц продукции в месяц, цена на адаптер составит около 12000 руб., что на 18–22% дешевле, чем у конкурентов. Основные интегральные показатели экономической эффективности сведены в табл. 1.

Таблица 1

Интегральные показатели

Показатель	Значение
Ставка дисконтирования	30,00 %
Период окупаемости	25 мес
Дисконтированный период окупаемости	33 мес
Средняя норма рентабельности	60,15 %
Чистый приведенный доход	180 131
Индекс прибыльности	1,20
Внутренняя норма рентабельности	44,84 %
Модифицированная внутренняя норма рентабельности	36,68 %
Длительность	1,77 лет

Период расчета интегральных показателей – 38 мес. Как видно из таблиц, показатели прибыльности инвестиционного проекта достаточно высоки. Значения интегральных показателей свидетельствуют о привлекательности инвестиционного проекта, это подтверждает и график окупаемости, представленный на рис. 3.

Данный график свидетельствует о том, что динамичный рост после небольшого спада вначале проекта возможен только при постоянном и растущем сбыте продукции. Индекс окупаемости проекта равен 1,20, соответственно данное производство работает с 20% рентабельности.

Так же был выполнен анализ устойчивости по методу «Монте-Карло», который составил 60%, доказывающий целесообразность реализации данного проекта в условия филиала ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске.

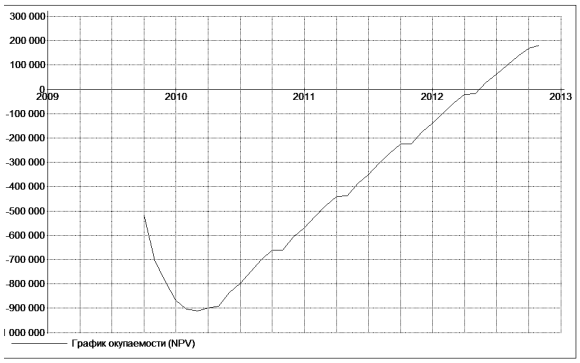


Рис. 3

В современных рыночных условиях проектные идеи должны и могут приводить к получению качественно новых конструктивных решений и технологий их изготовления, которые будут обладать себестоимостью на уровне или ниже существующих аналогов и превосходить их по эксплуатационным характеристикам.

Список литературы

1. Анализ состояния рынка и технического сервиса импортной техники в дорожно-строительной отрасли [Электронный ресурс] / Экскаватор ру – все о производстве, продаже, сервисе и эксплуатации экскаваторов. – Режим доступа http://www.excavator.ru, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Синяков А.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерного экскаватора типа механическая лопата в условиях северных регионов России // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Люберцы, 2005. – 26 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЭКСКАВАЦИОННЫХ РАБОТ

Пудов Е.Ю., Антоненков Д.В.,

Руководитель: Хорешок А.А., д.т.н., профессор

Филиал ОАО ХК «Якутуголь» Разрез «Нерюнгринский»,
Филиал ГУ «Кузбасский государственный технический университет» в г. Прокопьевске,
653033, Россия, г. Прокопьевск, ул. Институтская, 19А
E-mail: pudov_evgen@mail.ru

Одним из основных направлений работы горнодобывающих предприятий Сибири и Дальнего Востока является проведение технического перевооружения горного оборудования, а именно ввод в эксплуатацию оборудования большой единичной мощности и создание мощных горнотранспортных комплексов.

Мощность потребления электропривода экскаватора зависит от ряда параметров (подготовка забоя, производительность, сопротивляемость породы резанию, скорость резания и др.) которые зависят от режима и условий работы машины.

Сложные процессы, происходящие при резании породы, и многообразие горно-геологических условий обусловили использование для анализа работы экскаваторов энергетических характеристик, найденных опытным путем.

Экспериментальные исследования показали, что расход электроэнергии у экскаваторов, работающих на угольном разрезе, зависит от многих факторов: типа экскаватора, объема ковша, технологии экскавации, категории пород, длительности цикла, производительности, угла поворота, качества подготовки забоя, кусковатости горной массы и.т. д. [1, 2].

На рис. 1 представлен график потребления активной (Wa) и реактивной (Wp) электроэнергии за 09.03.2008 экскаватора РС8000, работающего на разрезе «Нерюнгринский», за сутки работы.

Из представленного рисунка видны рабочий и холостой режимы работы экскаватора.

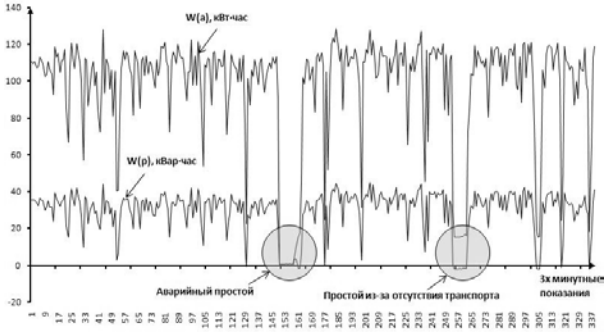


Рис. 1. Осцилляции электропотребления экскаватора РС8000 разреза «Нерюнгринский»

Представляет интерес также характер изменения некоторых полученных зависимостей, на что указывает знак перед коэффициентом корреляции. Так, расход электроэнергии на экскавацию уменьшается при увеличении категории породы, т. е. при увеличении трудности экскавации. Такая закономерность объясняется тем, что с увеличением трудности экскавации значительно падает производительность, а с уменьшением производительности снижается расход электроэнергии. За время работы, равное циклу, с увеличением угла поворота (при прочих неизменных условиях) несколько возрастает расход электроэнергии, что и отмечалось в ряде работ по данной тематике.

По имеющимся статистическим данным для экскаватора РС8000 определены уравнения регрессии, по которым построены эмпирические и теоретические зависимости (рис. 2).

Простои экскаваторов при проведении аварийного ремонта, отмеченные на рис. 1, отнимают значительное количество времени. При этом аварийный ремонт, проводимый по причине выхода из строя механического оборудования экскаватора, составляет 47–50% от общего объема ремонтных работ [3]. Выход из строя ковшей и их конструктивных элементов составляют 34–36% от поломок механического оборудования (18% от общего количества поломок).

Статистические данные, собранные по парку гидравлических экскаваторов, работающих на горнодобывающих предприятиях г.г. Прокопьевска, Киселевска, Прокопьевского района Кемеровской области, показали, что более 11% машин имеют повреждения, касающиеся узла адаптер-штифт-зуб, что составляет 64% от общего числа повреждений ковша. При этом более 87% ковшей с повреждениями адаптерных узлов имеют состояние, близкое к аварийному, по причине возникновения дефектов их основных элементов: усталостных трещин, деформаций, трещин в сварных швах. В то же самое время повреждения адаптерного узла влекут за собой резкое увеличение нагрузок, воспринимаемых передней кромкой – как элемента, последующего за адаптером в конструкции ковша.

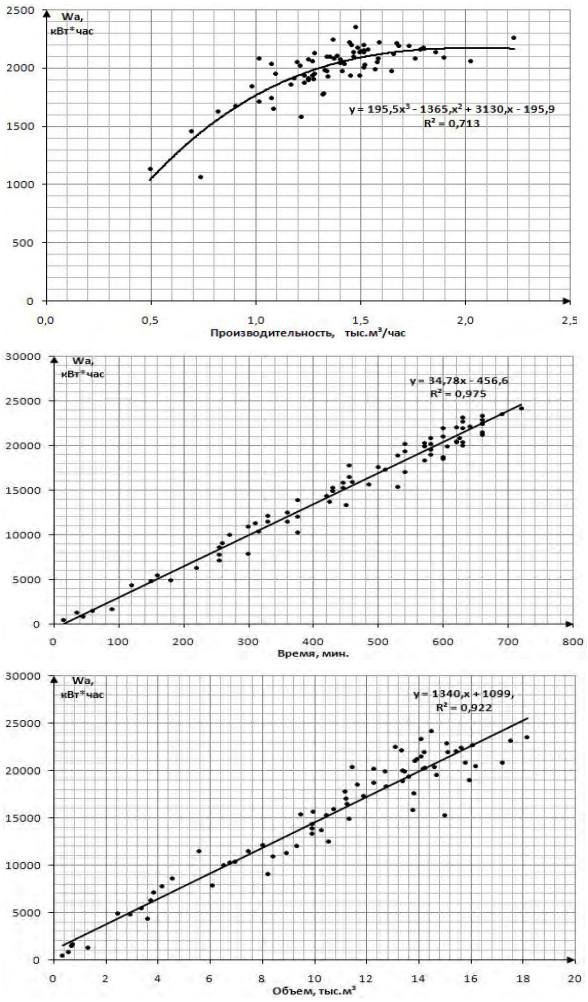


Рис. 2. Зависимости между расходом энергии и параметрами экскавации для РС8000 без учета вспомогательных операций

Надежность ковша будет зависеть от ряда технических и технологических факторов, среди которых условия и способ ведения работ, к числу которых можно отнести ориентацию зуба и направление приложенной к нему силы относительно поверхности разрабатываемого грунта.

На рис. 3 представлены возможные варианты занимаемого положения зуба при ведении работ, где α – это угол наклона зуба относительно нормали приложенной к нему силы.

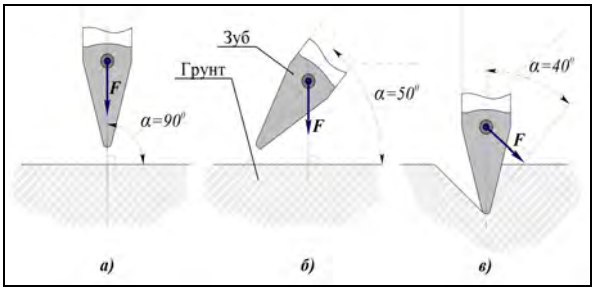


Рис. 3. Возможные варианты положения зуба относительно нормали к действующей силе: а – внедрение зуба в грунт под прямым углом α; б – внедрение зуба под углом α=50^O; в – снятие слоя грунта при α=40^O

Возможные значения угла α могут варьироваться в пределах от 15^{O} до 90^{O}, что обусловлено особенностью конструктивного исполнения зуба. Моделируя внешнюю нагрузку на адаптерный узел и ее направление, задаваемое углом α, существует возможность проследить зависимость возникающих максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу во всех конструктивных элементах узла. Линейно аппроксимированные результаты моделирования напряженно-деформированного состояния с изменяемой величиной угла α представлены на рис. 4.

Адаптерный узел требует к себе особого внимания по той причине, что именно его повреждения влекут за собой резкое увеличение нагрузок, воспринимаемых передней кромкой – как элемента, последующего за адаптером в конструкции ковша экскаватора.

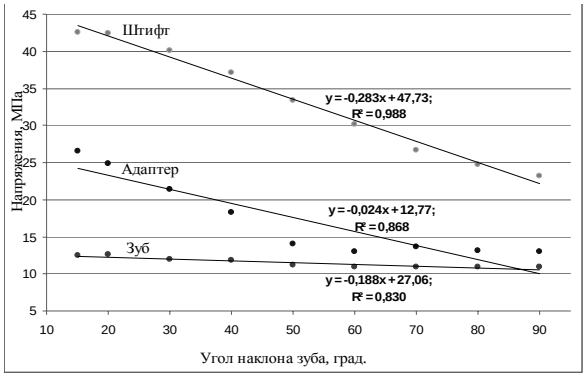


Рис. 4. Линейная аппроксимация зависимости напряжений в элементах адаптерного узла от угла α

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что при ведении различного рода экскавационных работ надежность и долговечность рабочего оборудования экскаватора и отдельных его элементов напрямую зависит от угла α. Подобное заключение говорит о необходимости соблюдения при экскавационных работах наиболее безопасных положений ковша и передаваемой ему силы относительно поверхности грунта с точки зрения возникающих в адаптерных узлах эквивалентных напряжений.

В данном случае можно установить тесную взаимосвязь между правильно подобранным углом расположения рабочего оборудования экскаватора относительно забоя и энергопотреблением, оптимизация которого является одной из наиболее актуальных задач на горнодобывающих предприятиях.

Список литературы

1. Гайдукевич В.И., Титов В.С. Случайные нагрузки силовых электроприводов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 160 с., ил.
2. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
3. Синяков А.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерного экскаватора типа механическая лопата в условиях северных регионов России // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Люберцы, 2005. – 26 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗНОШЕНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК ПЕРЕД ИХ УТИЛЗАЦИЕЙ

Ремизов А.А

Научный руководитель: Гольдшмидт М.Г. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: remiz@vtomske.ru

Утилизация автомобильных покрышек является одной из острых проблем современной цивилизации. В век, когда огромное число частных автомобилей заполнило дороги нашей планеты, изношенные покрышки пылятся на гигантских свалках мертвым грузом. Общемировые запасы изношенных автомобильных покрышек оцениваются в 25 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т. На европейские страны приходится 3 млрд шт. «накоплений» изношенных автомобильных покрышек (около 2 млн т). Ежегодно в США накапливается более 280 млн использованных автомобильных покрышек.

Из этого количества в мире только 23 процента автомобильных покрышек находят применение (экспорт в другие страны, сжигание с целью получения энергии, механическое размельчение для покрытия дорог и др.). Остальные 77 процентов использованных автомобильных покрышек никак не утилизируется, ввиду отсутствия рентабельного способа утилизации. В России и СНГ ежегодный объём выбрасываемых автомобильных покрышек оценивается цифрой более 1 млн т. Только в Московском регионе, по экспертным оценкам, образуется ежегодно от 70 до 90 тыс. тонн изношенных шин. Из этого объема порядка 10 тысяч тонн перерабатывается на Чеховском регенератном заводе и на Тушинском заводе по переработке РТИ, а остальная масса шин оказывается на подмосковных полигонах, несанкционированных свалках, пригородных лесах, довольно часто возгорает, усугубляя и без того непростую экологическую

обстановку в регионе. В Санкт-Петербурге и Ленинградской области около 60 тыс. т отслуживших автомобильных покрышек. Имеющийся мировой и отечественный опыт свидетельствует, что наиболее распространенными методами утилизации автомобильных покрышек являются сжигание с получением энергии (наиболее популярно сжигание их в цементных печах), пиролиз в условиях относительно низких температур с получением легкого дистиллята, твердого топлива, близкого по свойствам к древесному углю, и металла, а также получение резиновой крошки и порошка, используемых для замены натурального и синтетического каучука при изготовлении полимерных смесей и строительных материалов (именно этот способ реализован на Чеховском регенератном заводе и в Тушино) [1].

К сожалению, все перечисленные методы экономически и экологически не являются привлекательными, в связи с чем масштабного развития не получили. В данное время не найдены более рациональные, эффективные и достаточно удачные методы переработки автомобильных покрышек. При сжигании выделяется огромное количество сверхтоксичных продуктов горения. При захоронении в земле срок разложения достигает ста лет. В процессе гниения выделяются токсины, которые с дождевыми водами загрязняют почву [2].

Наша работа направлена на повышение эффективности процесса разделения изношенных автомобильных покрышек.

При дроблении автомобильных шин методом лезвийной обработки (фрезерованием) с базированием по центральному отверстию, нагрузка на инструмент и другие элементы системы СПИД меняется от наибольшей практически до ноля (при «резание пустоты»). Это негативное явление можно нивелировать, если предварительно разрезать автомобильную покрышку на две половинки в диаметральной плоскости и сложить две половинки оптимальным с точки зрения однородности среды методом.

Конструктивная схема и составные части шинореза показаны на рис. 1.

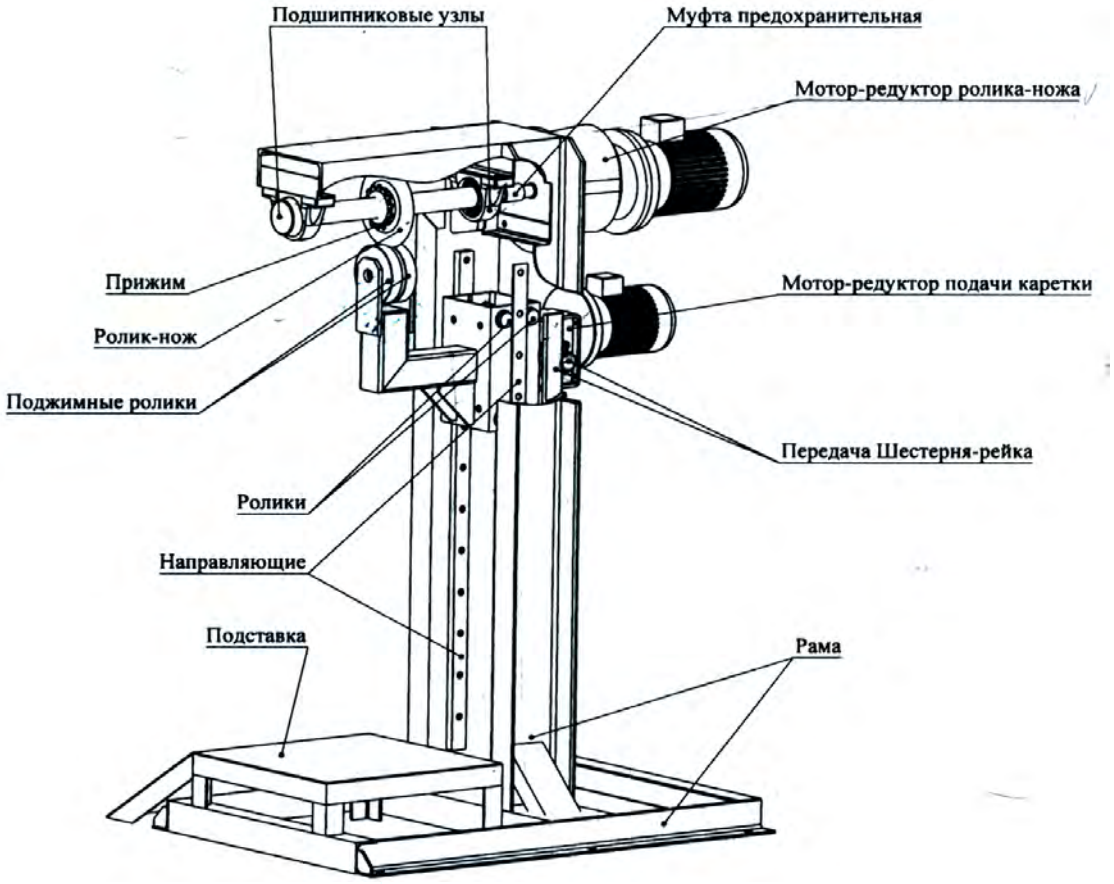


Рис. 1. Устройство для разделения автомобильных покрышек

Работа установки заключается в том, что на поджимные ролики навешивается покрышка. При включении установки поджимные ролики вместе с покрышкой поднимаются по направляющим при помощи механизма подачи каретки. Одновременно с этим начинает работать мотор-редуктор, который приводит в движение ролик-нож. Когда покрышка достигает ролика-ножа, он начинает постепенно вдавливаться в материал покрышки и постепенно прорезать ее. Прижим обеспечивает вращение и перемещение зоны резания до разрезания по всей поверхности покрышки. После раз-

деления покрышки на две половинки поджимные ролики опускаются в первоначальное положение.

Мы предложили две схемы разделения автомобильных покрышек. Первый вариант – продавливание лезвия в поджимные ролики. Второй вариант – резание дисковыми ножницами. При этом ролик-нож и поджимные ролики заменяются на дисковые ножи лезвий. Оба варианта обладают высокой эффективностью. Первый вариант обладает большей надежностью и более легкой установкой автомобильной покрышки, но в этой схеме большие проблемы возникают: с перерезанием металлического корда, сплетенная проволока плохо поддается резанию. Второй вариант с большей вероятностью будет резать металлическую проволоку корда, при обеспечении надежной конструкции подачи и установки автомобильных покрышек. Планируется проведение научно исследовательской работы с целью выяснения более оптимальных условий резания покрышки.

Данная установка будет использоваться в линии утилизации автомобильных покрышек на фирме «Экологические системы» расположенной в г. Томске. Мы рекомендуем использовать первый вариант для внедрения в производство.

Переработка автомобильных покрышек перспективный бизнес, но связан с многими рисками и сложностями. В данной работе мы попытались улучшить один из этапов в линии утилизации покрышек. Но существуют еще множество проблем, в том числе связанных с применением получившейся резиновой крошки, после измельчения. Работы по дальнейшему улучшению производства продолжаются.

Список литературы

1. http://ru.cavitational-technology.com
2. http://www.biotecbel.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ОЧИСТКИ И ИНГИБИРОВАНИЯ

Федин Д.В.

Научный руководитель: Крец В.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: df666@sibmail.com

На сегодняшний день трубопроводный парк нашей страны способен транспортировать 600 млн тонн нефти и 800 млрд м^3 газа. Альтернативы трубопроводам в XXI веке нет. В связи с высокой интенсивностью развития сети трубопроводов в 80-е годы и недостаточным вниманием к их ремонту, большая часть трубопроводов подлежит капитальному ремонту. Проведение ремонта, в достаточном объеме, невозможно ни с физической точки зрения, ни с финансовой. В этих условиях свести к минимуму ущерб от возможных аварий можно только, ускоренным внедрением системы диагностики нефтепроводов и технически грамотной их эксплуатацией. Сейчас приоритетными являются вопросы экологической безопасности и экологического мониторинга. Отсюда ***основная задача – надежность и безопасность трубопроводных систем, превентивные меры предотвращения аварий.***

Большая часть промысловых трубопроводов не выдерживают нормативный срок эксплуатации из-за ряда причин, основной из которых является ручейковая коррозия (рис. 1).

По одной из существующих научных гипотез коррозионные разрушения связаны с содержанием в трехфазном потоке механических примесей, которые выпадают на дно трубы в процессе транспорта нефти и при движении вызывают абразивный износ трубы по нижней образующей, способствуя тем самым росту интенсивности коррозии в данной области. Так как скорость течения жидкости, а, следовательно, и твердых частиц на восходящих участках коллектора обычно значительно ниже, чем на нисходящих и горизонтальных, то возможна концентрация частиц и образование отложений в точках перегиба.

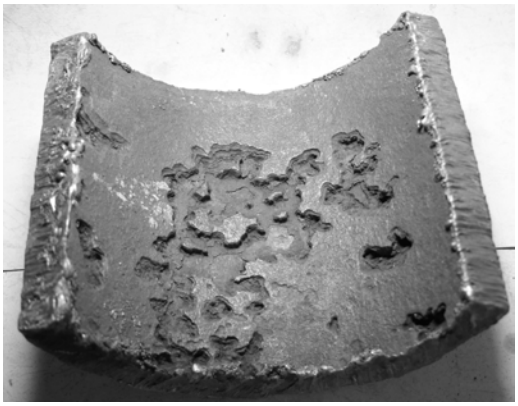


Рис. 1. Коррозионное поражение водовода на УПСВ Харампурского месторождения, ООО «РН-Пурнефтегаз»

По другой гипотезе механические примеси могут скапливаться на пониженных и горизонтальных участках трубопровода и образовывать

донные отложения, которые из-за низких скоростей газожидкостного потока не разрушаются, а формируются в виде полос. Поэтому коррозионные разрушения под образовавшимся осадком имеют вид канавок. При этом участки поверхности трубы под осадком становятся анодом, а сам осадок катодом. В возникшей гальванической паре металл трубы под осадком начинает интенсивно разрушаться, причем процесс коррозии ускоряется присутствующими в осадке сульфидами железа.

Наиболее распространенным методом поддержания эксплуатационной надежности стальных трубопроводов считается применение ингибиторов. Согласно стандартам ISO – 8044, ингибиторами коррозии металлов называют химические соединения, которые, присутствуя в коррозионной системе в определенной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации любого коррозийного агента. Эффект замедления скорости коррозии в присутствии ингибиторов является следствием их воздействия на кинетику электрохимической реакции, обуславливающей коррозионный процесс. В этой связи подобное воздействие невозможно без адсорбции молекул ингибитора на поверхности металла. К недостаткам данного вида защиты можно отнести недостаточную эффективность. При ингибировании трубопроводов уже с продуктами парафинистых отложений, ингибитор тонкой пленкой ложится на слой отложений, не препятствуя возникновению коррозионных поражений (рис. 2).

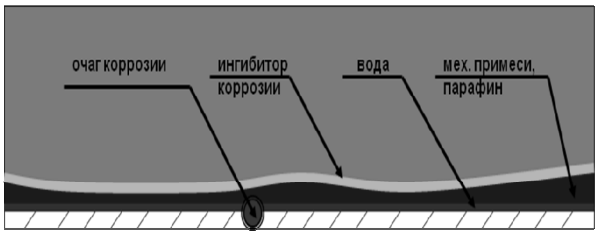


Рис. 2. Распределение ингибитора в сечении трубопровода

Еще один эффективный метод борьбы с коррозией это применение трубопроводов с внутренним антикоррозийным защитным покрытием. Это покрытие наносится на внутреннюю поверхность трубы, оно сохраняет физико-механические и защитные свойства при воздействии климатических факторов (температура от –40 °С до +60 °С, относительная влажность 100%), обладает стойкостью к воздействию воды, водяных растворов и сырой нефти. Гладкая поверхность покрытия уменьшает гидравлическое сопротивление и парафиносолеудержание. Однако большая стоимость изготовления и монтажа данных трубопроводов не позволяет повсеместно их использовать. Есть и еще один недостаток – незащищенными остаются места стыков труб, это требует применения специальных защитных втулок и как следствие дополнительные затраты.

На наш взгляд наиболее эффективный метод – пробковая технология подачи ингибитора (рис. 3), когда одновременно с очисткой, между двумя поршнями, из стационарно-установленной емкости закачивается реагент, а затем вся система подается в трубопровод. При этом, за счет поперечных пазов заднего поршня, ингибитор уходит из пачки, осаждаясь на внутреннюю полость трубы [2].

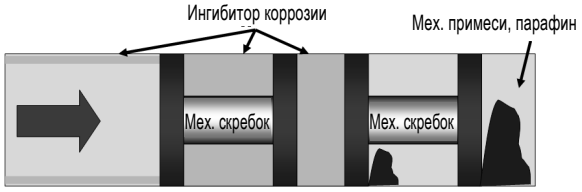


Рис. 3 Пробковая технология подачи ингибитора

Проведение периодической внутритрубной очистки трубопроводов позволяет добиться целого ряда положительных моментов, направленных на безаварийную эксплуатацию промысловых трубопроводов ООО «РН-ПУРНЕФТЕГАЗ»:

1) снижение скорости коррозии до 6–8 раз, за счет исключения возникновения коррозионного процесса, путем извлечения отложений со стенок трубопровода;

2) повышение коэффициента распределения ингибитора (экономия ингибитора до 2-х раз), когда между двумя поршнями, из стационарно-установленной емкости закачивается реагент, а затем вся система подается в трубопровод. При этом, за счет поперечных пазов заднего поршня, ингибитор уходит из пачки, осаждаясь на внутреннюю полость трубы. При такой технологии, как считают, достигается защита 100% внутренней поверхности и минимальный расход;

3) увеличение пропускной способности трубопровода, т. е. снижение затрат на перекачку;

4) улучшение гидродинамического режима;

5) увеличение эксплуатационного ресурса трубопровода;

6) возможность проведения Внутритрубной диагностики трубопроводов. На сегодняшний день это самый лучший способ диагностирования состояния трубопровода, позволяющее выявлять внутренние дефекты тела трубы, сварного шва, потенциально опасные участки, утонения стенки трубы и т. д. А также на стадии ввода нового трубопровода выявлять строительный брак в сварных стыках, и заводской брак по телу трубы.

Список литературы

1. Елин Н.Н. Оптимизация систем нефтегазосбора на месторождениях Западной Сибири. – М.; (Обзор. информ. ВНИИОЭНГ / Сер. «Техника и технология добычи нефти»), 1990. – 32 с.
2. Мокеров С.К., Родомакин А.Н. Отчет о визите группы специалистов ОАО «НК «Роснефть» в Канаду для изучения опыта эксплуатации трубопроводов в северных климатических условиях. – М.: ОАО «НК «Роснефть». – 2007.
3. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов / под ред. Ю.Д. Земенкова. – М.: Инфра-Инженерния, 2006. – 928 с.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЕРЕДАЧА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Черемнов А.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: awch@tpu.ru

Современный Российский рынок промышленной продукции все более ужесточает требования к качеству и надежности продукции. Особенно это характерно для нефтегазовой отрасли, которая получила возможность приобретать как отечественное, так и импортное оборудование. В данной обстановке Российские производители, для выживания на рынке товаров, вынуждены пересматривать требования к исполнительным механизмам широкого класса машин.

Неотъемлемой частью большинства изготавливаемых, на сегодняшний день, механизмов, как отечественными, так и зарубежными производителями являются зубчатые передачи зацеплением. Однако, получившие широкое распространение виды передач уже не способны отвечать предъявляемым к ним требованиям современного рынка. Так, например, помимо традиционных требований по нагрузочным способностям и надежности в последнее время заказчик выдвигает такие требования, как:

- малая инерционность,
- наибольший ресурс работы,
- минимальный мертвый ход,
- малая масса и наименьшие габариты.

В этом плане, наиболее перспективными являются передачи с промежуточными телами качения, объединившие в себе достоинства волновых и планетарных передач [1]. Несмотря на то, что эти передачи известны достаточно давно, они до сих пор недостаточно изучены, в связи с чем, таят в себе скрытые резервы.

В отличие от традиционных волновых передач, передачи с промежуточными телами качения лишены такого существенного недостатка, как наличие гибкого колеса, резко снижающего ресурс работы. Поэтому передачи с промежуточными телами являются более надежными.

В сравнении с планетарными передачами масс-габаритные характеристики передач с промежуточными телами ниже в 1.5–3 раза. Удельная материалоемкость у передач с промежуточными телами находится в пределах 0.010–0.015 кг/Нм, в то время как у планетарных она составляет порядка 0.030–0.060 кг/Нм. Нагрузочные способности планетарных передач также значительно ниже, так как у планетарных передач в зацеплении находится не более 4…5 зубьев [2], в то время как у передач с промежуточными телами в зацеплении находится половина всех зубьев [1, 3].

Таким образом, использование передаточных механизмов на основе передач с промежуточными телами позволяет существенно уменьшить металлоемкость и повысить ресурс работы изделия.

За более чем полувековую историю, передачи с промежуточными телами качения представлены в изделиях лишь в очень узких областях. Кроме того, ведущиеся на сегодняшний день разработки отечественных ученых, в данном направлении, ограничиваются, большей частью, изучением плоских передач с промежуточными телами, т. е. таких передач, закон движения которых можно описать на плоскости при помощи двух координат. Схематично такая передача представлена на рис. 1.

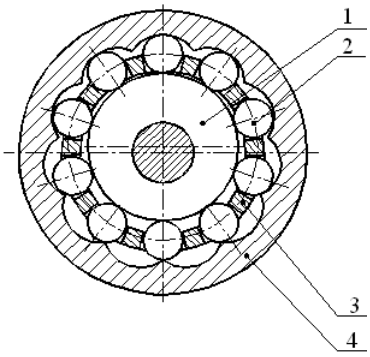


Рис. 1. Плоская передача с промежуточными телами качения (1 – генератор волн, 2 – промежуточное тело качения, 3 – сепаратор, 4 – венец)

В качестве промежуточных тел в данной передаче могут выступать как шарики, так и ролики. Передачи, в которых в качестве промежуточных тел качения применяются ролики, обладают большей нагрузочной способностью, однако, такие передачи требуют большей точности изготовления, нежели передачи, в которых роль промежуточных тел качения выполняют шарики.

Для плоской передачи с промежуточными телами качения, представленной на рис. 1 оптимальное значение передаточного отношения, получаемого на одной ступени, находится в диапазоне 11…35, что зачастую не удовлетворяет предъявляемым требованием. В результате, разработчики вынуждены организовывать две и более ступени, что приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов в осевом или диаметральном направлении и как следствие, повышению массы изделия. Кроме этого данная передача является не соосной, что, в свою очередь, приводит к необходимости включать в конструкцию данной передачи механизм параллельных кривошипов. Наличие механизма параллельных кривошипов непосредственно приводит к усложнению конструкции передачи.

Наибольший интерес в этой ситуации представляет пространственная передача с промежуточными телами качения (рис. 2). В отличие от плоской передачи с промежуточными телами, данная передача позволяет организовать при одноволновом генераторе передаточное отношение порядка 40…500 (1000). Получение большого передаточного отношения при одноволновом генераторе позволяет уменьшить габаритные размеры как в осевом, так и в диаметральном размере, что в свою очередь приводит к существенному снижению габаритных размеров и упрощению конструкции изделия в целом.

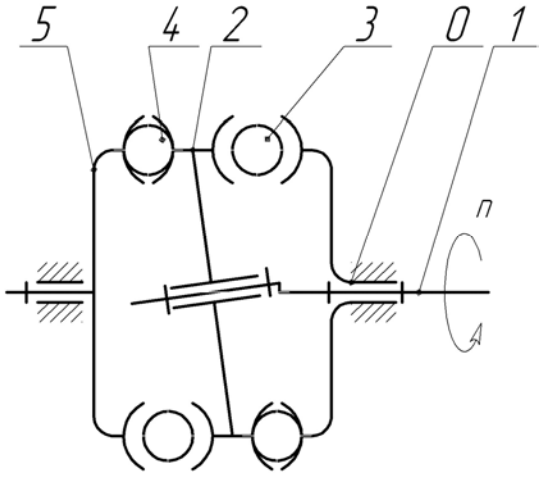


Рис. 2. Пространственная передача с промежуточными телами качения (0 – неподвижное колесо, 1 – генератор волн, 2 – шестерня, 3, 4 – промежуточные тела качения (шарики), 5 – колесо)

В роли промежуточных тел в данном виде передач могут применяться ролики, либо шарики, в зависимости от выдвигаемых требований.

Пространственная передача с промежуточными телами качения, схема которой представлена на рис. 2 является соосной, поэтому отсутствует необходимость в механизме параллельных кривошипов, что значительно упрощает конструкцию таких передач.

Для проверки работоспособности пространственной передачи с промежуточными телами качения (рис. 2) определим ее степень подвижности по формуле Сомова – Малышева:

$$W=6\cdot n-5\cdot P_5-4\cdot P_4-3\cdot P_3-2\cdot P_2-P_1, \qquad (1)$$

где n – количество подвижных звеньев в механизме; P_5, P_4, P_3, P_2, P_1 – число кинематических пар пятого, четвертого, третьего, второго и первого класса соответственно. Для приведенной схемы, находим, что число подвижных звеньев n=5, количество кинематических пар пятого класса P_5=3, количество кинематических пар четвертого класса P_4=0, количество кинематических пар третьего класса P_3=0, количество кинематических пар второго класса P_2=4, количество кинематических пар первого класса P_1=0. Подставив значения в формулу (1) получим

$$W=6\cdot 5-5\cdot 3-2\cdot 4=7.$$

Таким образом, данный механизм имеет семь степеней свободы. Из них 6 степеней свободы будут являться местными подвижностями, т. е. вращение шара вокруг собственных осей. Откинув местные подвижности, получим W=1. Следовательно, для нормальной работы механизма достаточно задать закон движения только одному, любому звену. Полученный результат дает возможность утверждать, что система является самоустанавливающейся и неизбежное наличие, в конструкции данной передачи, сепаратора, необходимо только для удержания промежуточных тел, на заданном расстоянии. Т. е. сепаратор не несет нагрузки, является разгруженным.

В заключении, можно сказать, что применение пространственных передач с промежуточными телами в механизмах, позволит повысить их качество и надежность, снизить массо-габаритные характеристики изделий. Своевременное начало производства таких передач обеспечит конкурентоспособность изделий, выпускаемых отечественной промышленностью на Российском и зарубежном рынках.

Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности. – Томск, 1986. – 60 с.
2. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи – М., 1966. – 308 с.
3. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства – Томск, 1998. – 296 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ ТИПА ОТСЛОЕНИЙ

Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С.

Научный руководитель: Бохоева Л.А., д.т.н., профессор

Восточно-Сибирский государственный технологический университет,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, Ул. Ключевская 40 «в»
E-mail:anechka227@yandex.ru

В связи возрастанием интереса к разработке работоспособных и достаточно прочных элементов конструкций летательных аппаратов из слоистых композиционных материалов (км) появляется необходимость углубленного исследования поведения таких элементов. Применение композиционных материалов в авиационной и аэрокосмической промышленности, сооружениях и объектах гражданского строительства, привело к необходимости учета новых факторов влияния на их эксплуатационные характеристики, такие как нелинейный характер деформирования; опасность разрушения вдоль поверхности раздела слоев – дефекты типа отслоение. Такие дефекты могут возникнуть не только при эксплуатации, особенно при динамических нагрузках, но и при изготовлении, транспортировке и хранении. Одной из особенностей процесса отслоения является локальная потеря устойчивости и выпучивание отслоившегося слоя с последующим ростом дефекта.

В настоящее время экспериментальное исследование поведения тонкостенных конструкций из слоистых км с дефектами типа отслоений далеко от своего завершения. Результаты проведения подобного класса экспериментов и их анализ рассматривались, в основном, в работах зарубежных авторов. Ограниченное число работ объясняется не отсутствием интереса к этой проблеме, а существенными техническими и материальными трудностями.

Для подтверждения аналитических зависимостей и компьютерного моделирования, полученных в работе [1], были проведены испытания образцов с дефектами типа отслоений, разработаны методика проведения эксперимента.

Образцы для экспериментальных работ были изготовлены из двадцатислойного препрега (стекловолокна или углеволокна) промышленная марка стеклоткани –Т-25 (вм) ТУ 6-11-380-76, углепластика – ЛУ-П/0,2-А. Однонаправленный материал имеет следующие характеристики: стеклопластик – $e_1=5{,}4\cdot10^4$мпа, $e_2=1{,}2\cdot10^4$мпа, $g_{12}=0{,}5\cdot10^4$мпа, $\mu=0{,}28$; углепластик – $e_1=18{,}0\cdot10^4$мпа,

$E_2=0{,}9\cdot10^4$мпа, $g_{12}=0{,}515\cdot10^4$мпа, $\mu=0{,}31$. Препреги были изготовлены на основе стекловолокна сатинового плетения с эпоксидным связующим; углеродных волокон с эпоксидным связующим. Технологический процесс изготовления образцов состоит в следующем. Поверхность прессформы смазывается антиадгезионным покрытием и нагревается. На поверхность выкладывается предварительно раскроенный препрег, выкладывается сразу двадцать слоёв препрега. Затем прессформы помещают в гидравлический пресс и создают давление за счёт сближения прессформ. Модели дефектов, имитирующие отслоения, изготавливаются в образцах следующим образом: закладывают между слоями с выходом и без выхода (в зависимости от формы дефекта) на кромку образца тонкую полоску из тефлона, покрытую антиадгезионным слоем. Длина образца между захватами l=200 мм (рис. 1). Для того чтобы ограничиться небольшими нагрузками и предотвратить возможный изгиб захватов, принята ширина образцов h=2 мм (рис. 1), длина захватов с двух сторон 3 см (рис. 2). Поскольку процесс отвердевания влияет на конечные размеры образца, то после отвердевания толщина каждого образца измерялась. Отношение длины образца l к толщине h для всех образцов приблизительно l/h=60. Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 40 пластин со сквозным дефектом типа отслоение с разными длинами дефектов *l*, материалом, толщиной залегания отслоения. Данные для испытуемых образцов представлены в табл. 1.

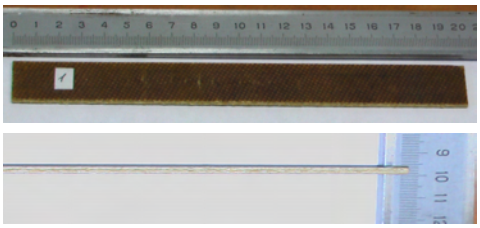


Рис. 1. Образцы для испытаний из стеклопластика и углепластика

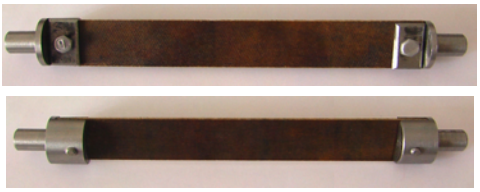


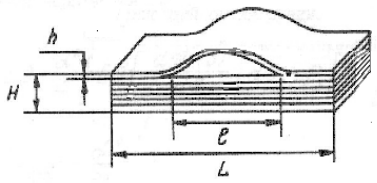
Рис. 2. Образцы с захватами

Границы дефектов на образцах очерчиваются рисками. Испытания в производственных условиях проводились на гидравлической машине мощностью 10 т. Для проведения испытаний была разработана установка, показанная на рис. 3, разрабо-

таны и изготовлены специальные захваты. Образец защемлялся в верхнем и нижнем захватах. Сделаны фотографии образцов до и после эксперимента; процесс нагружения, деформации и разрушения фиксировался на видеокамеру.

Таблица 1

Образцы для экспериментальных исследований



№	L, мм	H, мм	Кол. слоёв		h, мм	Кол. слоёв		L, Мм
			Углепл	Стеклп		Углепл.	Стеклп.	
1	200	2	13	8	0,6	4	2	80
2					0,4	3	2	80
3					0,2	1	1	80
4					0,4	3	2	50
5					0,4	3	2	30
6					0,9	6	4	100
7					0,8	5	3	100
8					0,6	4	3	65
9					0,5	5	2	65

Образцы 1–10 имеют длину отслоения 30–80 мм, толщину залегания дефекта 0,2–0,6 мм. С увеличением нагрузки вначале происходит выпучивание тонкого слоя, а затем разрушение клеевого соединения, т. е. Имеет место локальная форма выпучивания. Процесс разрушения сопровождался падением нагрузки и изгибом верхней, дефектной, нижней части и основной части пластины, т. е. имела место «смешанная» форма потери устойчивости. На этом этапе деформирования процесс разрушения сопровождается звуками растрескивания волокон. Образцы 11–20 имеют длину отслоения 65–100 мм, толщину залегания дефекта 0,55–0,85 мм. С увеличением нагрузки деформации происходили во всех частях пластины, т. е. Имела место «смешанная» форма потери устойчивости. Для определения критической силы в случае отсутствия дефекта дополнительно было изготовлено 20 образцов без отслоения. Значения критической нагрузки $p_{эксперр.}$, полученные в процессе эксперимента, приведены в табл. 1. Для сравнения в таблице 1 приведены результаты аналитических расчетов $p_{теор.}$[1] и численные расчеты в системе ansys p_{ansys} [2].

Для исследования поперечного перемещения и роста отслоения впервые была применена система технического зрения (стз). Техническое зрение позволяет автоматизировать обмер, распознавание дефектов, получить скорость роста дефекта от приложенной нагрузки. В зависимости от относительных значений толщины и длины отслоившегося слоя процесс деформирования образца записывался на видеокамеру.

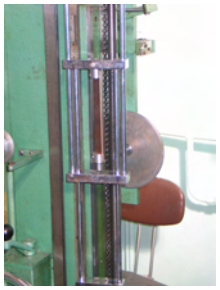


Рис. 3. Стенд для испытания

Таблица 2

Результаты расчета и испытаний

	Стеклопластик			Углепластик		
L, мм	$P_{теор}$ [кН]	$P_{экс}$	P_{ans}	$P_{тео}$	$P_{экс}$	P_{ans}
100	1.47	0.82	1.32	2.51	1.2	2.5
200	0.71	0.59	0.69	1.99	1.31	1.89
250	0.45	0.43	0.45	1.75	1.42	1.74
300	0.31	0.27	0.27	1.62	1.19	1.5
350	0.23	0.11	0.21	1.61	0.92	1.61
400	0.71	0.48	0.78	1.41	1.01	1.39
450	0.56	0.25	0.54	1.3	0.78	1.32
500	0.46	0.32	0.45	1.3	0.69	1.32
550	0.38	0.21	0.3	–	–	–
600	0.72	0.47	0.70	–	–	–

В работе проведены испытания изготовленных образцов с отслоениями из стеклопластика и углепластика. Учитывая экспериментальные исследования, следует отметить, что максимальная нагрузка образцов с дефектами типа отслоений меньше критической нагрузки образцов без дефектов. Хотя величины перемещений сравнимы между собой, экспериментальные данные меньше теоретических, это характерно и для образцов с дефектами, и без них. Данный факт может объясняться следующим:

- Наличием различного рода исходных несовершенств, таких, как неизбежная начальная кривизна, неоднородность материала;
- В эксперименте очень трудно добиться точного выполнения используемых в теории требований.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы»

Список литературы

1. Бохоева Л.А. Особенности расчёта на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – 192 с.
2. Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. Моделирование элементов конструкций из слоистых композиционных материалов при наличии дефектов в системе ANSYS // Современные техника и технологии: сб.тр. XV междун. научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Томск, 2009. – С. 346–348.

ВЛИЯНИЕ ФРОНТА ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА ПРИ ОДНОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ

Чинахов Д.А., к.т.н., доцент, Томчик А.А.

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
тел/факс +7(38451)-6-53-95, E-mail: zver73@rambler.ru

Во второй половине XX в. произошел переход от машинно-технической революции к научно-технической, которая характеризуется широким использованием наукоемких технологий. В начале третьего тысячелетия сварка является одним из ведущих технологических процессов создания материальной основы современной цивилизации [1].

Разрабатываемые технологии и способы сварки должны обеспечивать получение качественных соединений с более высокими эксплуатационными свойствами или не ниже тех, которые получают по уже существующим технологиям и способам, но с наименьшими затратами.

Один из факторов, усложняющий получение качественных равнопрочных сварных соединений, – это подверженность легированных сталей к охрупчиванию в результате насыщения металла шва водородом [2] и образование высокотемпературной химической микронеоднородности (ВХМН) в зоне сплавления [3], что при высоких внутренних напряжениях или циклической внешней нагрузке может служить причиной зарождения трещин и привести к разрушению сварной конструкции.

Насыщение металла шва водородом происходит в результате длительного пребывания сварочной ванны в жидкой фазе. С другой стороны, увеличенное время пребывания металла сварочной ванны в жидком состоянии способствует лучшему перемешиванию электродного металла с основным, что приводит к снижению уровня ВХМН, структурной и механической неоднородности в зоне сплавления [4]. Сократить время пребывания металла сварочной ванны в жидкой фазе и одновременно увеличить скорость его перемешивания можно при помощи импульсно-динамических воздействий, например, управления переносом электродного металла в сварочную ванну [5] или управления газо-защитной средой [6–8] и др.

С целью определения влияния газового фронта защитной среды зоны сварки на эксплуатационные свойства сварных соединений провели экспериментальные исследования с применением следующих способов сварки:

1. Традиционный способ с одноструйной газовой защитой.
2. Разработанный способ с двухструйной газовой защитой [9].

Выполняли автоматическую сварку пластин из стали 30ХГСА размером 150х300мм толщиной 8мм стационарной дугой в CO_2 сварочной проволокой Св08Г2С диаметром 1,2мм.

При сварке образцов стационарной дугой поддерживался режим: напряжение дуги $U_д$ = 26–27 В, скорость сварки $V_{св}$ = 25–26 см/мин, расход защитного газа Q = 16–17 л/мин, сила тока $I_{св}$ = 185–190 А, без подогрева и последующей термообработки. Использовали источник питания ВСЖ-303, автоматическую сварочную головку ГСП-2.

На полученных образцах провели измерения значений микротвердости (рис. 1) и микроструктурный анализ.

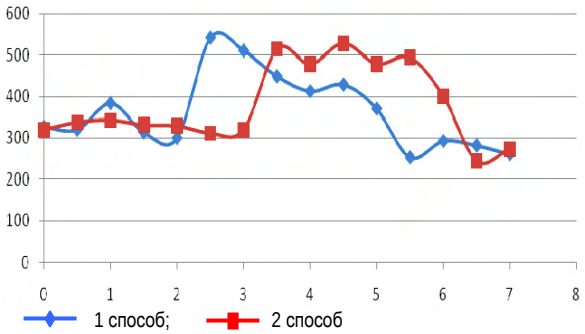


Рис. 1. Распределение микротвердости в сечении сварного соединения

Провели сравнительный анализ микроструктур в зонах сварных соединений, полученных первым и вторым способами (рис. 2–4).

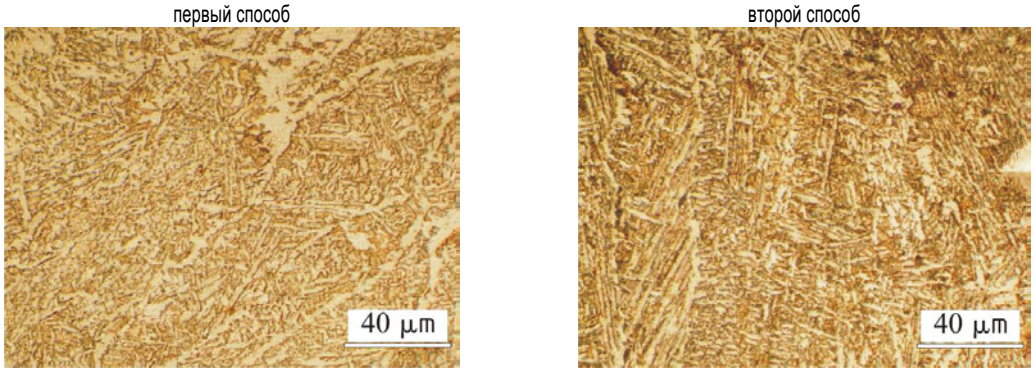


Рис. 2. Микроструктура металла шва

Традиционно в литературе выделяют 6 основных зон сварного соединения: металл шва, участок неполного расплавления, участок перегрева, участок нормализации, участок неполной перекристаллизации, основной металл [10].

На снимках микроструктур металла шва (рис. 2) наблюдаем продукты распада аустенита (наплавленный металл), строение дендритное. Поля феррита с небольшим количеством перлита. При сварке первым способом наблюдаются очень грубые игольчатые структуры. Сварка вторым способом обеспечивает более мелкодисперсную структуру металла шва за счет динамического воздействия защитной газовой струи и более интенсивного перемешивания металла сварочной ванны, разбиения дендритов и образования множества новых центров кристаллизации. Кроме того, увеличивается скорость охлаждения и сокращается время пребывания металла шва в области высоких температур, и зерно не успевает вырасти.

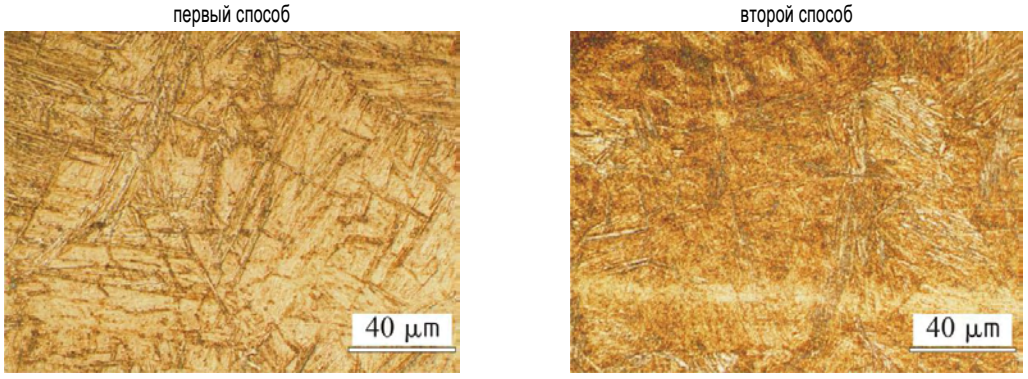


Рис. 3. Микроструктура на участке неполного расплавления

Свойства участка неполного расплавления и металла шва во многих случаях оказывают решающее влияние на работоспособность сварного соединения, т. к. при динамических нагрузках здесь чаще всего образуются трещины, ножевая коррозия, хрупкие разрушения и т.п. [11].

Структура металла напоминает видманштеттову структуру. Иглообразное расположение феррита, перлит, сорбит. При сварке первым способом структурные составляющие более грубые и продолжительные. Сварка вторым способом обеспечивает мелкодисперсную структуру сварного соединения, обеспечивает более высокую работоспособность сварной конструкции в целом, особенно это заметно при работе изделия при знакопеременных нагрузках.

Участок перегрева (рис. 4) включает металл, нагретый от температуры 1200°С до температуры плавления. Металл на этом участке претерпевает полиморфное превращение. При значительном перегреве происходит рост аустенитного зерна. Обычно металл на втором участке околошовной зоны обладает пониженной пластичностью и прочностью по сравнению с основным металлом.

Так как режимы сварки при первом и втором способе одинаковые, то и количество тепла, введенного в сварное соединение, будет равным. Это вызывает образование одинаковых микроструктур на участках нормализации и неполной перекристаллизации.

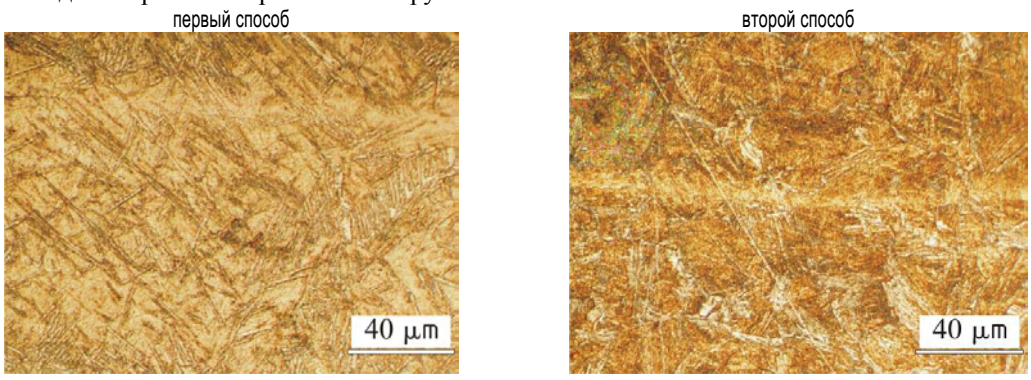


Рис. 4. Микроструктура на участке перегрева

По результатам исследования установлено, что способ 2 обеспечивает надежное качество соединения и уменьшение структурной неоднородности, способствует измельчению структуры металла шва, формирует плавный переход от наплавленного металла к основному, что улучшает эксплуатационные свойства и равнопрочность сварных соединений. Разработанный способ сварки легированных сталей можно широко использовать в машиностроении, судостроении, а также для ремонта и строительства трубопроводов.

Список литературы

1. Шалимов М.П., Панов В.И. «Сварка Вчера, Сегодня, Завтра». – Екатеринбург, 2006.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1990. –528 с.
3. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов: справ. изд. / под ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991. – С. 528.
4. Елагин В.П., Снисарь В.В., Савицкий М.М., Гордань Г.Н., Васильев В.Г., Дорошенко Л.К. Химическая и структурная неоднородности в зоне сплавления низкоуглеродистой стали с аустенитным швом при сварке в защитных газах / Автоматическая сварка. 2001. № 4. – С. 8–13.
5. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. – Новосибирск: ВО Наука, 1994. – 108 с.
6. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапожков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов / Автоматизация и современные технологии. 2003. № 3. – С. 12–18.
7. Штрикман М.М., Павлов А.С., Сабанцев А.Н., Егоров В.Н. Дуговая сварка с воздействием на сварочную ванну направленных газоструйных потоков / Сварочное производство. 1999. № 12. С. 3–6.
8. Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. Сварка легированных сталей в щелевую разделку без термообработки / Технология металлов. 2005. № 10. – С. 27–29.
9. Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. Способ сварки: Патента на изобретение № 2233211 (РФ). Приоритет от 27.05.2003. 7 B 23 K 9/173 // B 23 K 103:04. Опубл. 27.07.2004. Бюл. № 21.
10. Акулов А.И., Алехин В.П., Ермаков С.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
11. Материаловедение и технология металлов: учебн. для студентов машиностроительных спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2000. – 638 с.

СЕКЦИЯ 4

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. СВОЙСТВА ЭЛЕГАЗА

Астафьев Д.С.

Научный руководитель: Богданов Е.П., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: samast88@mail.ru

Элегазовые выключатели в технически развитых странах практически вытеснили все другие типы аппаратов. Интенсивное внедрение элегазовой аппаратуры обусловлено тем, что в настоящее время пока не найдено способов эффективного дугогашения способных конкурировать с гашением дуги в элегазе [3].

Рассмотрим подробнее свойства элегаза. Элегаз – электротехнический газ – представляет собой шестифтористую серу SF6 (рис. 1). Элегаз является основным изолятором в элементах ячеек с элегазовой изоляцией.

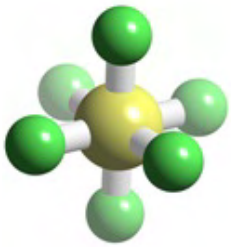


Рис. 1. Молекула элегаза

При рабочих давлениях и обычной температуре элегаз – бесцветный газ, без запаха, не горюч, в 5 раз тяжелее воздуха (плотность 6,7 против 1,29 у воздуха) [2], молекулярная масса также в 5 раз больше, чем у воздуха.

При атмосферном давлении электрическая прочность элегаза в 3 раза выше, чем у воздуха, а уже при давлении элегаза 0,3–0,4 МПа его электрическая прочность выше, чем у трансформаторного масла; отключающая способность элегазовых коммутационных аппаратов при одинаковых условиях на 2 порядка выше, чем у воздушных выключателей.

Элегаз не стареет, т. е. не меняет своих свойств с течением времени, при электрическом разряде распадается, но быстро рекомбинирует, восстанавливая первоначальную диэлектрическую прочность.

При температурах до 1000К элегаз инертен и нагревостоек, до температур порядка 500К химически не активен и не агрессивен по отношению к металлам, применяемым в конструкции элегазовых распределительных устройств.

В электрическом поле элегаз обладает способностью захватывать электроны, что обусловливает высокую электрическую прочность элегаза. Захватывая электроны, элегаз образует малоподвижные ионы, которые медленно разгоняются в электрическом поле.

Эксплуатационная способность элегаза улучшается в равномерном поле, поэтому для эксплуатационной надежности конструкция отдельных элементов распределительных устройств должна обеспечивать наибольшую равномерность и однородность электрического поля.

В неоднородном поле появляются местные перенапряженности электрического поля, которые вызывают коронирующие разряды. Под действием этих разрядов элегаз разлагается, образуя в своей среде низшие фториды (SF2, SF4) [2], вредно действующие на конструкционные материалы комплектных распределительных элегазовых устройств (КРУЭ).

Во избежание разрядов все поверхности отдельных элементов металлических деталей и экранов ячеек выполняются чистыми и гладкими и не должны иметь шероховатостей и заусенцев. Обязательность выполнения этих требований диктуется тем, что грязь, пыль, металлические частицы также создают местные напряженности электрического поля, а при этом ухудшается электрическая прочность элегазовой изоляции.

Высокая электрическая прочность элегаза позволяет сократить изоляционные расстояния при небольшом рабочем давлении газа, в результате этого уменьшается масса и габариты электротехнического оборудования. Это, в свою очередь, дает возможность уменьшить габариты ячеек КРУЭ, что очень важно, например, для условий севера, где каждый кубический метр помещения стоит очень дорого.



Рис. 2. Высоковольтный баковый элегазовый выключатель ВЭБ-110

Высокая диэлектрическая прочность элегаза обеспечивает высокую степень изоляции при минимальных размерах и расстояниях, а хорошие

способность гашения дуги и охлаждаемость элегаза увеличивают отключающую способность коммутационных аппаратов и уменьшают нагрев токоведущих частей [1].

Применение элегаза позволяет при прочих равных условиях увеличить токовую нагрузку на 25% и допустимую температуру медных контактов до 90°С (в воздушной среде 75°С) благодаря химической стойкости, негорючести, пожаробезопасности и большей охлаждающей способности элегаза.

Недостатком элегаза является переход его в жидкое состояние при сравнительно высоких температурах, что определяет дополнительные требования к температурному режиму элегазового оборудования в эксплуатации. На рис. 3 приведена зависимость состояния элегаза от температуры.

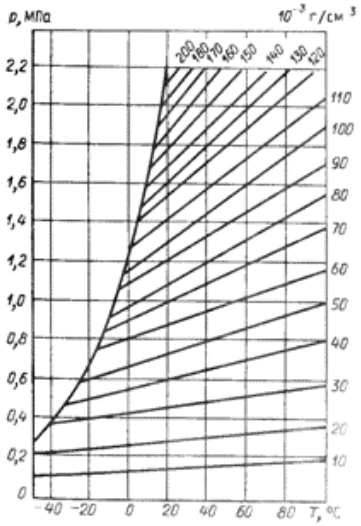


Рис. 3. Диаграмма состояния элегаза в зависимости от температуры

Для работы элегазового оборудования при отрицательной температуре минус 40^0С необходимо, чтобы давление элегаза в аппаратах не превышало 0,4 МПа при плотности не более 0,03 г/см^3 [2].

При повышении давления элегаз будет сжижаться при более высокой температуре. поэтому для повышения надежности работы электрооборудования при температурах примерно минус 40°С его следует подогревать (например, бак элегазового выключателя во избежание перехода элегаза в жидкое состояние нагревают до плюс 12°С).

Дугогасительная способность элегаза при прочих равных условиях в несколько раз больше, чем воздуха. Это объясняется составом плазмы и температурной зависимостью теплоемкости, тепло- и электропроводности.

В состоянии плазмы молекулы элегаза распадаются. При температурах порядка 2000 К теплоемкость элегаза резко увеличивается вследствие диссоциации молекул. Поэтому теплопроводность плазмы в области температур 2000–3000 К значительно выше (на два порядка), чем воздуха.

При температурах порядка 4000 К диссоциация молекул заканчивается и начинается рекомбинация молекул, плотность электронов еще больше уменьшается, так как атомарная сера химически соединяется с фтором. В этой области температур теплопроводность плазмы еще значительная, идет охлаждение дуги, этому способствует также удаление свободных электронов из плазмы за счет захвата их молекулами элегаза и атомарным фтором. Электрическая прочность промежутка постепенно увеличивается и, в конечном счете, восстанавливается.

Особенность гашения дуги в элегазе заключается в том, что при токе, близком к нулевому значению, тонкий стержень дуги еще поддерживается и обрывается в последний момент перехода тока через нуль [1]. К тому же после прохода тока через нуль остаточный столб дуги в элегазе интенсивно охлаждается, в том числе за счет еще большего увеличения теплоемкости плазмы при температурах порядка 2000 К, и электрическая прочность быстро увеличивается.

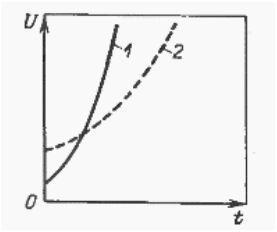


Рис. 4. Нарастание электрической прочности элегаза (1) и воздуха (2)

Такая стабильность горения дуги в элегазе до минимальных значений тока при относительно низких температурах приводит к отсутствию срезов тока и больших перенапряжений при гашении дуги.

В воздухе электрическая прочность промежутка в момент прохождения тока дуги через нуль больше, но из-за большой постоянной времени дуги у воздуха скорость нарастания электрической прочности после прохождения значения тока через нуль меньше [3].

Рассмотрев все достоинства элегаза, можно сделать следующие вывод: элегазовому оборудованию присущи: компактность, большие межревизионные сроки, вплоть до отсутствия эксплуатационного обслуживания в течение всего срока службы, широкий диапазон номинальных напряжений, пожаробезопасность и повышенная безопасность обслуживания. В целом, доля элегазового оборудования на средние классы напряжений на мировом рынке постоянно растет.

Список литературы

1. Кукеков Г.А. Выключатели переменного тока высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1972. – 336 с.
2. Полтев А. И. Конструкции и расчёт элегазовых аппаратов высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1979. –239 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты высокого напряжения. Выключатели: справочник. – М.: Информэлектро, 1994. – 160 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ОБМОТКАХ И СТЕНКАХ БАКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Баженов М.С.

Научный руководитель: Игнатович В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: maksoon@sibmail.com

Добавочные потери в элементах конструкции силовых трансформаторов, причины их возникновения и возможные способы устранения являются одной из важнейших задач, без решения которой невозможен правильный расчет и конструирование трансформатора. Немаловажное значение добавочные потери имеют и для эксплуатации трансформатора, т. к. возникновение добавочных потерь часто бывает связано с местными нагревами, которые при неблагоприятных условиях могут привести к преждевременному выводу трансформатора из эксплуатации.

Разработка в трансформаторостроении способов исследования поля рассеяния в трансформаторе и создание точных способов анализа распределения поля рассеяния и вызываемых ими электродинамических сил, действующих на обмотки, позволят обеспечить электродинамическую стойкость и надежность силовых трансформаторов. Исследование поля рассеяния трансформаторов имеет целью также обеспечить определенную организацию и локализацию этого поля за счет оптимального размещения обмоток и использования магнитных экранов, что позволяет значительно уменьшить добавочные потери в обмотках и конструктивных деталях трансформатора – стенах бака, прессующих деталях обмоток и остова.

Высокая значимость и недостаточная практическая разработанность проблемы, включающая в себя моделирование и анализ, определяют несомненную новизну и необходимость данного исследования. Актуальность настоящей работы обусловлена, с одной стороны, большим интересом к возможности уменьшения электрических потерь в обмотках, стенках бака и прессующих элементах силовых трансформаторов на современном этапе развития электротехнической промышленности, с другой стороны, ее недостаточной разработанностью и внедрением в современное электромашиностроение. Рассмотрение вопросов связанных с данной тематикой носит как теоретическую, так и практическую значимость.

Для расчета добавочных потерь в элементах конструкции практически до 90-х годов прошлого столетия применялись полуэмпирические зависимости, что позволяло с достаточной точностью определить потери в элементах типовых конструкций. На сегодняшний день, с учетом развития компьютерных технологий, используют полевые методы расчета. Сначала выполняли расчеты 2-мерного (плоского и осесимметричного) поля, а в дальнейшем, с развитием ЭВМ и 3-мерного. Одним из известных и широко распространенных программных продуктов в мире является программа ANSYS, с помощью которой возможен расчет добавочных потерь в элементах конструкции. В программе ANSYS реализован конечно-элементный метод расчета низкочастотных полей.

В настоящее время электромагнитные задачи для электротехнических устройств со сложной геометрией как внешних, так и внутренних границ, характеризуются наличием достаточного количества подобластей модели устройства с различными магнитными и проводящими свойствами решаются численными, как правило, проекционно-сеточными методами, к которым относится и метод конечных элементов.

Данный метод является одной из модификаций проекционных методов (Ритца, Галеркина и т. д.). Суть проекционных методов состоит в попытке аппроксимировать решение дифференциального уравнения конечной линейной комбинацией базисных (пробных) функций (функций формы), т. е. в том, чтобы найти «проекцию» или приближенное решение в конечномерном пространстве для непрерывного решения в бесконечномерном функциональном пространстве. Форма базисной функции и критерий вычисления коэффициентов линейной комбинации определяют проекционный метод.

Дискретная модель непрерывной области строится следующим образом:

1. В области моделирования фиксируется конечное число точек. Эти точки называются узлами расчетной сети, которой покрывается область моделирования.

2. Значение непрерывной величины в каждой узловой точке считается переменной, которая и определяется.

3. Область моделирования непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами. Эти элементы имеют общие узлы, аппроксимируют форму области и представляют собой расчетную или триангуляционную сеть.

4. Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины. Для каждого элемента определяется свой полином. Они подбираются таким образом, чтобы вдоль границ элемента величина была непрерывна.

Метод конечных элементов основан на аппроксимации непрерывной функции (потенциала, температуры и т. д.) дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, которые называются конечными элементами. В качестве функции элемента чаще всего используется полином. Классификацию конечных элементов можно провести в соответствии с порядком этих полиномов. Рассматриваются три группы элементов: симплекс-, комплекс- и мультиплекс-элементы.

Классическое описание двумерного симплекс-элемента приведено в [4]. Это треугольник с прямолинейными сторонами и тремя узлами, по одному в каждой вершине. Как правило, используется последовательная нумерация узлов против часовой стрелки, начиная от некоторого i-го узла, который выбирается произвольно. Узловые значения скалярной величины обозначаются через Φi ,Φj и Φk , а координаты трех узлов – через (Xi ,Yi), (Xj ,Yj),(Xk ,Yk). , что позволяет определить функции формы через координаты узлов расчетной сети.

Наиболее важными преимуществами метода конечных элементов являются следующие:

1. Свойства материалов смежных элементов не должны быть обязательно одинаковыми. Это позволяет применять метод к телам составленным из нескольких материалов.

2. Криволинейная область может быть аппроксимирована с помощью прямолинейных элементов или описана точно с помощью криволинейных элементов. Таким образом, методом можно пользоваться не только для областей с «хорошей» формой границы.

3. С помощью метода конечных элементов не представляет труда рассмотрение смешанных граничных условий.

Так же расчет можно реализовать в универсальном конечно-элементном пакете российского производства ELCUT. С помощью данной программы возможно решение полевых задач в двухмерной постановке. Это ограничение, очевидно, сужает область применения, но дает возможность применять пакет на ранних этапах прикидочных расчетов, когда трехмерное моделирование еще неоправданно сложно.

В дальнейшем процесс исследования будет посвящен сравнению результатов расчета добавочных потерь полученных с помощью программ ELCUT и ANSYS.

Проведение сравнительного анализа планируется осуществить по методике представленной сотрудниками «Украинского научно исследовательского проектно-конструкторского технологического института трансформаторного оборудования» А.С. Трайно и М.В. Остренко в докладе «Сравнительный анализ расчета добавочных потерь в элементах конструкции автотрансформатора мощностью 200 МВА полученных с помощью программ EDMAG-3Dv2 и ANSYS».

В частности необходимо создать расчетные модели для определения добавочных потерь:

- в стенках бака трансформатора.
- в нижней ферромагнитной ярмовой балке, имеющей воздушные промежутки для разрыва магнитного потока.
- прессующей пластине, которая представляет собой одну или две пластины из маломагнитного материала.
- стенке верхней ярмовой балки.

Анализ распределения потоков рассеяния по участкам указанным выше позволит выявить зоны, опасные с точки зрения перегрева элементов бака при нагрузках.

В результате проделанной работы и выполненных расчетов в пакетах программ ANSYS и ELCUT можно сравнить полученные модели оценить результаты и выбрать оптимальный вариант решения данной проблемы.

Список литературы

1. Тихомиров П.М.. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. – 6-е изд., стереотипное. – Издательский дом Альянс, 2009. – 528 с.: ил.
2. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. – М.: Энергия, 1981. – 392 с., ил.
3. Васютинский С.Б. Вопросы теории расчета трансформаторов Л.: Энергия, 1970. – 423с.: ил.
4. Сегерлинд Р. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 389 с., ил.
5. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.2. Руководство пользователя. – СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2005. – 257 с., ил.
6. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: УРСС, 2008. – 270 с., ил.

ВИДЫ ОТКАЗОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Балтынов Т.Т.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: turar@inbox.ru

Введение

Одной их основных составных частей современных электрических систем являются силовые трансформаторы (СТ), суммарная мощность которых из-за многократной трансформации электрической энергии в 5–6 раз превышает генераторную мощность.

СТ – это электрические аппараты, для производства которых требуются дорогостоящие материалы: электрическая медь, высококачественная холоднокатаная электротехническая сталь, трансформаторное масло высокой степени очистки и др. Такие СТ требуют также значительных затрат на транспортировку, монтаж и ввод в эксплуатацию.

Из-за того, что не везде эксплуатация СТ проводилась и проводится надлежащим образом, а также из-за физического и морального старения оборудования, вероятность аварий СТ сегодня оказывается достаточно высокой, что нежелательно из-за следующих соображений:

- потери объекта, как материальной ценности или потребности больших инвестиций на восстановление оборудования;
- вероятности «эффекта домино», когда аварийный процесс затрагивает соседнее оборудование и окружающую среду;
- перерывом в электроснабжении потребителей.

Последнее обстоятельство в условиях рыночной экономики может сопровождаться значительным ущербом, что в итоге может превысить экономические потери от первых двух причин.

Таким образом, можно утверждать, что любые исследования и разработки, направленные на повышение надежности эксплуатации стареющего трансформаторного оборудования, являются актуальными.

Целью работы является рассмотрение видов отказов силовых трансформаторов при эксплуатации.

Классификация отказов высоковольтных электроэнергетических маслонаполненных аппаратов

Комплексная диагностика повреждений силовых трансформаторов с использованием ряда параметров и математическая обработка результатов измерений позволяют прогнозировать серьезные повреждения в эксплуатации, связанные с потерей осевой и радиальной устойчивости обмоток, скручиванием и повреждением регулировочной обмотки, полеганием витков и др. [1].

Естественно, что надежность работы сетей, электростанций и энергосистем в значительной степени зависит от надежности маслонаполненного оборудования (силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, вводов, трансформаторов тока и напряжения), тем более, что значительная часть трансформаторов отработала определенный стандартом срок службы – 25 лет [2], а техническое перевооружение трансформаторов в силу сложившихся условий идет крайне медленно в 1993 г. оно составило 1,1%, а в 1999 г. только 0,5%.

Перед эксплуатационными службами встают вопросы обоснования продления срока службы длительно работающего электрооборудования с точки зрения снижения вероятности риска его повреждения.

Для анализа надежности работы трансформаторов в первую очередь необходима следующая информация:

- распределение повреждений по основным узлам трансформаторов разных классов напряжений;
- характеристики тяжести повреждений;
- частота повреждений в зависимости от срока службы трансформаторов;
- причины и последствия повреждений.

Таблица 1

Распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам и классам напряжений

% / Узел	Класс напряжения, кВ					
	35	110	220	330	500	Всего
Обмотки	30	13	7	8	0	16
Магнитопровод	0	0	1,5	8	0	0,5
Система охлаждения	3	5	6	15	14	5
РПН	2	18	19	8	24	13,5
Вводы	13	23	32	23	34	22
Течь масла	7	10	15	23	19	11
Упуск масла	30	22	18,5	15	9	23
Вандализм	15	9	1	0	0	9
Итого	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*

Как следует из табл. 1, наибольшую повреждаемость имеют высоковольтные вводы – 22%, устройства РПН – 13,5%. Значительная доля отказов приходится на течи (11%) и упуск трансформаторного масла (23%).

В табл. 2 приведено распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам в зависимости от продолжительности их эксплуатации.

Таблица 2

Распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам с указанием продолжительности их эксплуатации

Узел	Число повреждений по продолжительности их эксплуатации					Всего
	10 лет	10–20 лет	20–30 лет	30–40 лет	>40 лет	
Обмотки	23	25	23	28	12	111
Магнито-провод	0	0	1	0	0	1
Система охлаждения	2	14	13	1	0	30
РПН	12	28	21	10	0	71
Вводы	15	37	38	31	9	130
Течь масла	12	16	19	11	3	61
Упуск масла	12	22	22	14	5	75
Вандализм	3	6	10	1	1	21
Итого	79	148	147	96	30	500

Из табл. 2 видно, что повреждения обмоток имеют место у трансформаторов с любыми сроками эксплуатации. Для РПН наибольшее число повреждений у трансформаторов со сроками эксплуатации 10–30 лет, для высоковольтных вводов – после 10 лет эксплуатации. Однако эти данные не позволяют сделать оценку зависимости повреждаемости от срока эксплуатации [3].

На рис. 1 и 2 представлены распределения повреждений для силовых трансформаторов напряжения 35 и 220 кВ по узлам.

Таким образом, из рис. 1 и 2 видно, что повреждения зависят от класса напряжения трансформаторов. Так для трансформатора напряжения 35 кВ наибольшее значение имеют отказ обмоток и упуск масла, а для трансформатора 220 кВ наибольшее значение имеют отказ вводов, РПН и упуск масла.

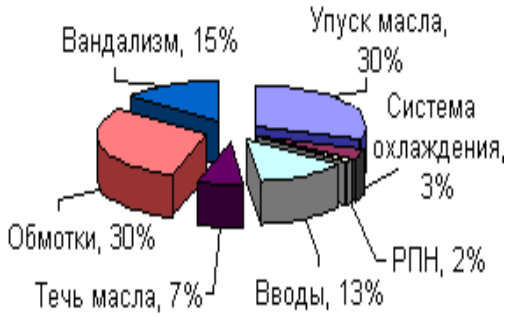


Рис. 1. Распределение повреждений по узлам силовых трансформаторов напряжением 35 кВ

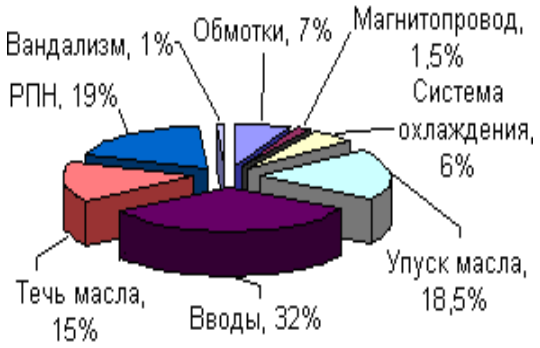


Рис. 2. Распределение повреждений по узлам силовых трансформаторов напряжением 220 кВ

Список литературы

1. Коллакот, Р. Диагностика повреждений : пер. с англ. / Р. Коллакот. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
2. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. Издательство стандартов.
3. Ванин Б.Н., Львов Ю.Н., Неклепаев Б.Н. и др. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. – 2001. – №9. – С. 53–58.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО С ОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Барвих Ю.Г.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: barvikh@mail.ru

В настоящее время положение в мировой энергетике характеризуется некоторыми особенностями, объясняющее повышенное внимание к надежности работы оборудования энергосистем, и в том числе силовых трансформаторов. Недостаточность инвестиций в последнее десятилетие в строительство, реконструкцию и техническое перевооружение электрических сетей и станций привело к резкому старению, увеличению доли высоковольтного оборудования, срок службы которого превышает 25–30 лет. Силовой трансформатор является в энергосистеме одним из важнейших элементов, определяющих надежность электроснабжения. Внезапный выход из строя трансформатора причиняет особенно большой ущерб, так как при этом убытки связаны не только с необходимостью восстановления трансформатора, но и с перерывом в производстве. В настоящее время доля электрооборудования, выработавшего свой ресурс, составляет от 30% и более, а для силовых трансформаторов доходит до 70% [1]. Нарастание объема изношенного оборудования и отсутствие возможности его восстановления вводит энергетическое обеспечение в зону повышенного риска, технологических отказов и аварий. Надежная работа силового трансформатора определяется техническим состоянием всех его узлов и элементов. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным

сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести его замену. Поэтому для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов очень важным является оценка технического состояния, качественное техническое обслуживание трансформаторов, организация эффективного контроля состояния работающего оборудовании, диагностический контроль.

Цель работы – оценить техническое состояние силовых трансформаторов в эксплуатации.

Одним из важных показателей качества технических устройств и систем является надежность, т. е. способность безотказно работать с заданными техническими характеристиками в определенных условиях эксплуатации в течение заданного времени [2]. Эффективность функционирования силовых трансформаторов, обеспечение их безотказности и долговечности связаны с анализом и оценкой показателей надежности. Обеспечение надежной работы трансформаторов необходимо для предотвращения катастрофических последствий, так как выбросы масла или пожары из-за внутренних повреждений трансформаторов [4].

Для избежания таких повреждений трансформаторов требуются усиление прочности бака, соответствующее устройство мембран, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, быстродействующие защитные системы.

На предприятиях электрических сетей доля электрооборудования подстанций прослужившего более 25 лет эксплуатируемых силовых трансформаторов и автотрансформаторов составляет 32%. Старение парка силовых трансформаторов, анализ повреждаемости и опыта эксплуатации, накопленный опыт обследований технического состояния силовых трансформаторов, результаты исследовательских работ, а также опыт заводов-изготовителей и ремонтных организаций выявили необходимость разработки дополнительных мер, ориентированных на развитие и совершенствование системы оценки состояния и методов диагностики силовых трансформаторов, в первую очередь с длительным сроком эксплуатации, в том числе для обеспечения оценки предельного состояния силовых трансформа торов [1, 3]. Внедрение современных средств и методик контроля технического состояния позволит принимать правильные решения о необходимости проведения ревизий и предупредительных ремонтов, а также решений о продолжении сроков эксплуатации оборудования с истекшим сроком службы на базе более точного определения остаточного физического ресурса [1, 3].

Доля технологических нарушений, приходящаяся на силовые трансформаторы, составила около 42%. Таким образом, большая часть технологических нарушений связана повреждениями маслонаполненных вводов, обмоток и устройств регулирования. На основании анализа технологических нарушений можно сделать вывод, что наибольшее внимание в ходе эксплуатации трансформаторов следует уделять состоянию вводов, обмоток и устройств РПН.



Рис. 1. Распределение технологических нарушений трансформаторов

Оценка технического состояния силовых трансформаторов в эксплуатации ведется по комплексу контролируемых показателей и их нормативам. Основным документом, регламентирующим перечень испытаний силовых трансформаторов и высоковольтных вводов при вводе в работу и в процессе эксплуатации, предельно является РД «Объём и нормы испытаний электрооборудования». С выходом издания данного нормативного документа для силовых трансформаторов существенно расширен перечень контролируемых параметров. В дополнение к ранее нормированным традиционным показателям оценки состояния силовых трансформаторов введены новые. К ним относятся: хроматографический анализ газов, растворённых в масле контроль содержания фурановых соединений в масле; измерение степени полимеризации; контроль содержания антиокислительной присадки – ионола; тепловизионный контроль и др. Для определения технического состояния силовых трансформаторов и оценки остаточного ресурса используют комплексный подход [1]. Оценка технического состояния силового трансформатора его вспомогательных систем и узлов проводится в несколько этапов. Подготовительный этап включает: анализ конструкции, характерных повреждений; анализ режимов работы и особенности эксплуатации; ознакомление с эксплуатационной документацией, результатами эксплуатационных измерений, испытаний; проведение специальных измерений и испытаний; внешний осмотр оборудования, вспомогательных систем и узлов; измерение вибрационных характеристик активной части и маслонасосов системы охлаждения; тепловизионное обследование трансформатора, системы охлаждения, регенерации масла, высоковольтных вводов и внешних контактных соединений; измерение уровня частичных разрядов электрическим методом; акустическое обследование; электрические измерения. Следующим этапом является проведение анализов и обработка полученных результатов. Оценка состояния трансформаторного масла производится на основании фи-

зико-химических и хроматографических анализов. Результаты проведенных анализов оформляются протоколами установленного образца, выдается заключение о состоянии масла, а также рекомендации по дальнейшей эксплуатации электрооборудования. Результатом всей работы является комплексный анализ полученных данных, подготовка технического отчета с заключением о техническом состоянии трансформатора его вспомогательных систем и узлов и рекомендациями о его дальнейшей эксплуатации. Оценка технического состояния измерительных трансформаторов тока и напряжения должна проводится не только в соответствии с руководящими документами, но и с результатами испытаний проведенных на заводе-изготовителе, при монтаже оборудования, по совокупности с результатами испытаний проведенных за весь период эксплуатации.

Наиболее опасными по интенсивности возникновения отказов у силовых трансформаторов являются периоды межсезонья с характерными резкими перепадами температур и изменением электрических нагрузок. Основными причинами отказов в работе трансформаторного оборудования является: износ силовых обмоток, низкое качество технического обслуживания и ремонта, несоблюдения периодичности и объема выполнения профилактических мероприятий, недостаточный уровень исполнения средств оценки технического состояния и диагностики, недостатки эксплуатации. Значительная часть отказов трансформаторов может быть предотвращена путем использования современных методов диагностики технического состояния и комплексного обследования [2]. На рис. 2 показана диаграмма по узловой доли повреждений трансформаторов завода «Алюминий Казахстана» в период с 1999 г. по 2005 г.

Система технического обслуживания и ремонта силовых трансформаторов по текущему состоянию электрооборудования является наиболее эффективной, однако требует детальной проработки и совершенствования организации технического обслуживания и ремонтов. Одним из способов продления эксплуатации силовых трансформаторов является оценка, диагностика технического состояния силовых трансформаторов. Оценка состояния трансформаторов выполняется с помощью замеров и испытаний. По данным испытаний проводятся экспертизы, и по их результатам составляются протоколы испытаний [1]. Система диагностики опирается на действующие нормативные документы и обеспечивает не только комплексную оценку технического состояния силовых трансформаторов, но и принятие правильных решений по их дальнейшей эксплуатации. Система диагностики, предотвращая аварийные отказы, позволяет прогнозировать возможность дальнейшей безаварийной работы силовых трансформаторов в течение определенного промежутка времени. Система диагностики позволяет комплексно оценивать состояние силовых трансформаторов, принимать решения по их дальнейшей эксплуатации и осуществлять техническую политику перехода к ремонту по фактическому состоянию оборудования в соответствии с правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей. Методы диагностики технического состояния могут предотвращать значительную часть отказов трансформаторов. Методы и средства диагностики постоянно совершенствуются.

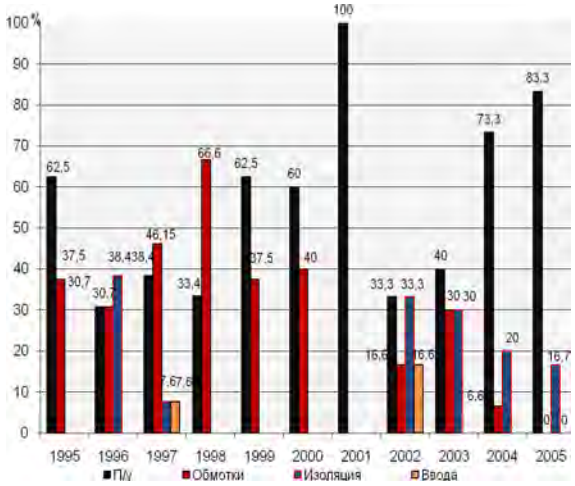


Рис. 2. Количественная оценка основных повреждений силовых трансформаторов завода

Таким образом, оценить техническое состояние силовых трансформаторов в эксплуатации можно по комплексу контролируемых показателей, их нормативам. Оценка технического состояния силового трансформатора его вспомогательных систем и узлов проводится в несколько этапов. Результатом является комплексный анализ полученных данных, подготовка технического отчета с заключением о техническом состоянии трансформатора его вспомогательных систем и узлов и рекомендациями о его дальнейшей эксплуатации. Одним из способов продления эксплуатации силовых трансформаторов является оценка, диагностика технического состояния силовых трансформаторов. Оценка состояния трансформаторов выполняется с помощью замеров и испытаний. Система диагностики позволяет комплексно оценивать состояние силовых трансформаторов, принимать решения по их дальнейшей эксплуатации позволяет прогнозировать возможность дальнейшей безаварийной работы силовых трансформаторов в течение определенного промежутка времени.

Список литературы

1. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. – М.: Издательство Академия, 2003. – 383 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – Санкт-Петербург.: Издательство БХВ-Петербург, 2008. – 702 с.
3. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 391 с.
4. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2008. – 460 с.

УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА

Бобриков А.Н.

Научный руководитель: Кляйн Р.Я., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: antoxa7m350@sibmail.com

Стандартный трехфазный асинхронный электродвигатель является самым распространенным приводом промышленного оборудования. Простота конструкции, низкая стоимость, надежность и относительно высокий коэффициент полезного действия позволяют предположить, что данный тип двигателя не потеряет своей актуальности и в будущем.

Однако использование асинхронного электродвигателя сопряжено с некоторыми проблемами. Прямой пуск, осуществляемый с помощью магнитного пускателя, вызывает большие пусковые токи, в 6–10 раз превышающие номинальные. Такой пусковой ток вызывает нагрев обмоток двигателя, что приводит к старению изоляции и уменьшению срока службы двигателя. Кроме того, при прямом пуске, крутящий момент на валу двигателя значительно превышает номинальный, что приводит к перегрузкам приводимых механизмов, может вызывать вибрацию и поломку привода. Для предотвращения таких условий пуска применяют устройства плавного пуска (УПП).

Плавный пуск двигателя с помощью УПП позволяет снизить пусковые токи до 2–3 номинальных, уменьшить момент на валу двигателя (что снизит риск поломки привода), а также осуществить некоторые виды защиты.

Объектами применения УПП являются вентиляторы, конвейеры, насосы, краны и другие привода, где нет необходимости в регулировании скорости вращения двигателя. В настоящее время применение частотных преобразователей не всегда оправдано в местах, где нужен только плавный пуск и останов двигателей, особенно с экономической точки зрения. Поэтому возможно применение более простых и дешевых УПП.

УПП представляет собой электронный регулятор напряжения, выполненный на тиристорах. Основой силовой части УПП являются два встречно-параллельно включенных тиристора, включаемые последовательно между питающим проводником и обмоткой двигателя (рис. 1). Готовые УПП содержат тиристоры, включаемые в одну, две или все три фазы. Трехфазное включение тиристоров позволяет получить симметричное по фазам ограничение тока, поэтому токовый режим максимально благоприятен и для двигателя, и для сети. Включение тиристоров в одну и две фазы позволяет смягчить механические удары, и удешевить УПП, но ограничение тока до гарантированной величины становится невозможным. Существует также вариант включения тиристоров не в фазу питания, а в разрыв обмотки статора электродвигателя. В этом случае ток через тиристор снижается и позволяет выбрать менее мощное и более дешёвое оборудование, но удваивает число необходимых кабелей.

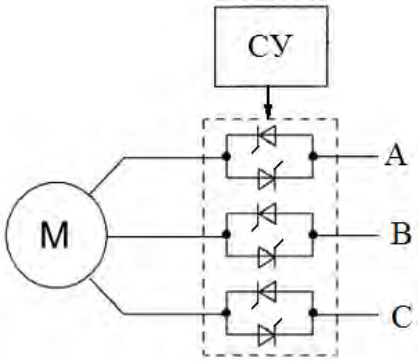


Рис. 1. Общая структура УПП

Система управления (СУ) не только генерирует управляющие сигналы для отпирания тиристоров, а также может следить за состоянием двигателя, анализировать режим работы, осуществлять индикацию параметров и выполнять защитные функции. Основным элементом в СУ является микроконтроллер, однако возможно применение различных схем управления тиристорами, что уменьшает функциональность, но удешевляет конструкцию.

Плавный разгон асинхронного двигателя до номинальной скорости осуществляется путем бесступенчатого управляемого повышения напряжения на статоре двигателя, посредством изменения угла открытия тиристоров α (рис. 2).

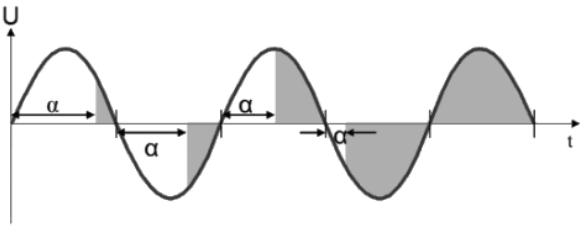


Рис. 2. Регулирование напряжения посредством изменения угла открытия тиристора

Тиристор отпирается при условии приложения прямого напряжения анод-катод и одновременной подачи отпирающего потенциала или его импульса на управляющий электрод. Запирается тиристор только снижением тока в цепи «анод-катод-нагрузка» до значения, близкого к нулево-

му. Временной момент запирания при переходе через ноль тока тиристора, через который питается обмотка разгоняемого двигателя, всегда запаздывает относительно момента перехода синусоиды фазного напряжения через ноль из-за индуктивной составляющей, а двигатель представляет собой активно-индуктивную нагрузку.

Чем больше угол открытия тиристора – тем больше будет значение напряжения, прикладываемого к двигателю. Значение пускового тока определяется настройкой начального и конечного углов открытия тиристоров, а также требуемой длительностью нарастания напряжения (временем плавного пуска).

Зависимости тока, и момента на валу двигателя описываются соотношениями, определяемыми величиной питающего напряжения (фазного) U_ϕ, скольжением s, частотой вращающегося магнитного поля ω_0 и величинами активных и индуктивных сопротивлений обмоток статора и ротора двигателя R_1, $R'_{2\Sigma}$, $x_к=x_1+x'_2$:

$$I'_2 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R'_{2\Sigma}/s)^2 + x_K^2}},$$

$$M = \frac{3U_\phi^2 \cdot R'_{2\Sigma}}{\omega_0 s\left[(R_1 + R'_{2\Sigma}/s)^2 + x_K^2\right]};$$

В процессе плавного пуска механическая характеристика асинхронного двигателя значительно отличается от характеристики при прямом пуске (рис. 3). При этом, несмотря на наличие перегрузки по току в 2...3 раза большего, чем номинальный, при низких скоростях вращения (в начале пуска) момент, развиваемый двигателем существенно ниже номинального.



Рис. 3. Механические характеристики при прямом и плавном пуске асинхронного двигателя

Плавный останов двигателя – это еще одна полезная функция, которую можно реализовать с использованием УПП. В некоторых механизмах, останов двигателя путем отключения силового питания и торможения двигателя за счет трения и момента нагрузки на валу двигателя недопустим, и может длиться менее секунды. Применение УПП позволяет увеличить время торможения двигателя по сравнению с временем торможения самовыбегом, и тем самым значительно уменьшить интенсивность механических ударов.

Помимо функций, связанных непосредственно с плавным пуском и остановом двигателя, УПП реализуют все необходимые защиты двигателя, дополняя или даже заменяя собой отдельные защитные устройства. Так, в некоторых УПП реализованы защиты: от неверного подключения (контроль последовательности фаз), от межфазных коротких замыканий на выходе, от отклонения напряжения и частоты питающей сети от номинальных значений с возможностью автоматического повторного включения и др.

Основная область применения УПП – механизмы с большой инерционностью и вентиляторной характеристикой нагрузки. При выборе УПП необходимо учитывать характер работы механизма. Для многих приложений (например, центрифуги и турбокомпрессоры) необходимо наличие в УПП существенной перегрузочной способности по току. Применение УПП оправдано в механизмах, работающих с постоянной частотой вращения вала двигателя, но имеющих тяжелые режимы пуска. На применимость УПП оказывает существенное влияние величина и характер изменения нагрузки на валу двигателя. Еще одно ограничение на применимость УПП накладывает значение момента инерции механизма. В случае слишком большого момента инерции пуск двигателя становится затяжным (более 15 секунд), при этом ток, превышающий номинальный, протекает в течение длительного времени, что может привести к перегреву, как двигателя, так и силовой части самого УПП. Длительный пуск посредством УПП является бесполезным по энергетическим, тепловым и технологическим параметрам.

Самое существенное ограничение на применимость УПП накладывают принципиально ограниченные функциональные возможности. УПП неприменимы в тех приложениях, где требуется регулирование скорости вращения двигателя. Для таких приложений оптимальным решением является использование преобразователей частоты.

УПП может использоваться в условиях повышенной взрыво- и пожароопасности, в химически активной среде, и в других условиях, где возможно применение бесконтактных электрических аппаратов (горношахтное оборудование и др.).

Список литературы

1. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
2. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного привода/ Л.П. Петров, О.А. Андрющенко и др. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.
3. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Тиристорные усилители в схемах электропривода / Б.Н. Иванчук, Р.А. Липман, Б.Я. Рувинов. – М: Энергоатомиздат, 1966. – 112 с.
4. http://www.softstarter.ru/
5. http://www.nppsaturn.ru/

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И КАССЕТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Богомолов Е.Н.

Научный руководитель: Гончаров В.И., д.т.н. профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: E.N.Bogomolov@gmail.com

Введение

Совершенствование технологических процессов во многом базируется на их автоматизации. Это направление развития особо актуально для массовых (крупносерийных) производств. В данной работе рассматривается производство малогабаритных деревянных заготовок, именуемых в дальнейшем изделиями, для последующего изготовления игрушек. Одна из задач при их изготовлении состоит в контроле качества 2-х наибольших поверхностей, другая – в укладывании изделий в специальные технологические кассеты.

В настоящее время эти задачи выполняются вручную. Труд оказывается непрестижным, монотонным, утомительным.

В данной работе рассматриваются технические предложения, обеспечивающие решение указанных задач.

Общая задача может быть разбита на несколько частных задач и соответствующих устройств, основываясь на функциональном критерии классификации. В этом случае достаточно самостоятельными устройствами выступают:

- приемный буккер изделий,
- система контроля качества изделий,
- устройство укладки изделий в кассеты,
- система управления установкой в целом.

1. Приемный бункер

Приемное бункерное устройство предназначено для накопления изделий и последовательной подачи их в ориентированном положении к устройству контроля качества.

Для реализации предписанных функций было разработано вибробункерное устройство (ВЗУ), примерная схема которого представлена на рис. 1.

Наиболее важным элементом, как это можно было предполагать и как показали испытания макетных образцов, является активатор с эксцентриковым приводом. Именно он позволяет перемещаться изделиям за счет кинетической и потенциальной энергий к рабочему столу 6 с достаточной скоростью в плоском положении. Важно также, что имеется возможность обеспечить однослойное расположение изделий за счет движений активатора и специального активного устройства расположенного перед приемным столом.

Активатор является необходимым элементом бункерного ВЗУ данной конфигурации, так как специфика обрабатываемых изделий неизбежно приводит к образованию заторов. Требовалось свести к минимуму, точнее к нулю вероятность их появления.

При разработке приемного бункера с активатором и рабочим столом был выполнен поиск устройств-аналогов, в том числе патентный, который, к сожалению, не привел к достаточно приемлемым результатам. Технические решения относятся, как правило, к металлоизделиям, которые имеют существенные специфические особенности и потому не могут быть напрямую использованы для решения рассматриваемой задачи.

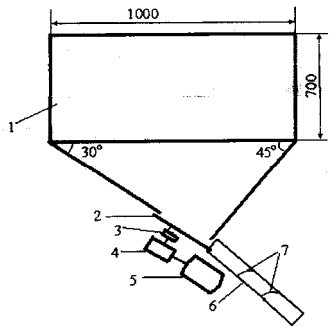


Рис. 1. Общий вид бункерного ориентирующего устройства: 1 – бункер; 2 – активатор; 3 – эксцентрик активатора; 4 – редуктор; 5 – двигатель; 6 – приемный стол; 7 – рассекатели ориентирующие

В связи с этим отметим, что конструктивное исполнение предложенного бункерного ВЗУ имеет признаки новизны и промышленной применимости, т. е. обладает признаками объекта интеллектуальной промышленной собственности.

2. Контроль качества

Эта задача состоит в выделении изделий, непригодных для дальнейшей обработки. Основными дефектами являются нарушения сплошности или однородности материала, недопустимые отклонения от структуры, нарушения геометрических размеров и другие. Граничный размер дефектов не должен превышать 1 кв.мм..

Для контроля качества был применен наиболее подходящий по цене, быстродействию, надежности и некоторым другим параметрам в*изуально-оптический* метод дефектоскопии [1]. Это решение позволяет обнаруживать поверхностные дефекты в изделиях, что и необходимо в данном случае.

В качестве устройства, выполняющего непосредственно сортировку изделий, было принято типовое решение – рычажный сортирующий ме-

ханизм [2], которое было доработано с учетом специфики объектов манипулирования.

Изделия необходимо сортировать по двум позициям. Поэтому потребовалось привлечение активного элемента, который позволяет разделять общий поток на два – годных и дефектных изделий. В качестве такого элемента был взят надежный малогабаритный двигатель постоянного тока с зубчато-реечной передачей (одно из применений такого двигателя широко известно – это приводы замков автомобиля). Общий вид участка контроля качества представлен на рис. 2. С помощью активаторов 3 и 4 изделия поштучно выдаются в зону видеоконтроля. В зависимости от результата контроля шток активатора 11 принимает одно из двух возможных положений, поворачивая подвижный лоток 5. Это позволяет направить годные изделия по лотку 8 для проверки второй поверхности, отбракованные изделия по лотку 7 поступают в специальный бункер.

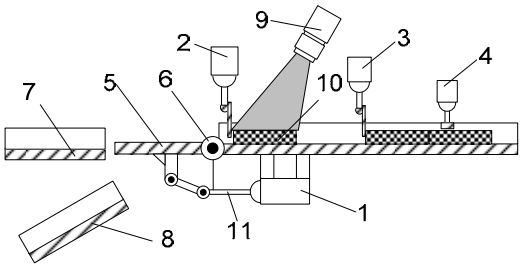


Рис. 2. Общий вид участка контроля качества: 1–4 – активаторы; 5 – подвижный лоток; 6 – ось вращения подвижного лотка; 7–8 – приемные лотки; 9 – видеокамера; 10 – изделие; 11 – шток активатора

3. Кассетирование

Главной задачей кассетирования является обеспечение беспрепятственного движения необходимого количества изделия из накопителя изделий после проверки их качества в ячейки оснастки, что позволит осуществить загрузку технологической кассеты.

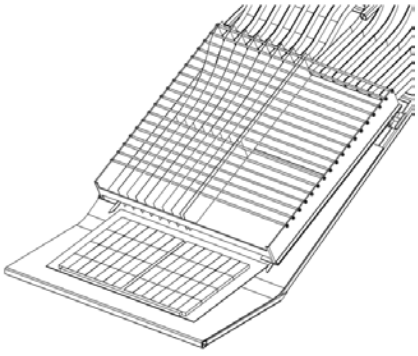


Рис. 3. Общий вид устройства кассетирования

Каналы перемещения изделий подразделяются на две группы – левую и правую в зависимости от того, загрузку какой части кассеты они обеспечивают.

Устройство, часть которого показана на рис. 3, представляет собой стальную прямоугольную раму. Ее жесткость обеспечивают стальные прутки с резьбой, при помощи которых фиксируются гибкие разделители, формирующие так называемый трафарет. Они разделяют изделия на несколько ручьев, таких, чтобы изделия не застревали при загрузке кассеты, но в то же время ложилось в определенные им места. К столу, на котором оператор размещает кассету, устройство крепится при помощи шарниров, что позволяет приподнимать его при замене кассеты и фиксировать ее, когда она находится в рабочем положении.

4. Система управления

Основная задача, которая ставится перед системой управления (СУ) – управление всеми устройствами подачи, дефектоскопии, удаления непригодных изделий и кассетирования. Для этого необходимо, чтобы СУ обеспечивала подачу изделий в зону видеоконтроля в соответствии с определенным алгоритмом подачи, фиксировала бы изделия на время съемки, осуществляла отбраковку негодных изделий, а годные направляла на двух зонное кассетирование.

Для достижения поставленной цели требовалось решить ряд задач, в частности, разработку схемы системы управления, выбор элементов, включая микропроцессорный комплект, и сопряжение периферийного оборудования:

- датчиков положения (обеспечение СУ информацией о положении изделий в контролируемые моменты времени);
- исполнительных элементов;
- силовых элементов двигателей;
- элементов контроля и защиты.

Эта работа выполнена, решения проверены на макетном образце.

Заключение

Работа представляет результаты разработки конструкции системы, его кинематической схемы, системы технического зрения, микропроцессорной системы управления и некоторых других устройств.

В настоящее время представленная система находится на стадии пуско-наладки.

Список литературы

1. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
2. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: Справочное пособие. В 7 томах. Т. VI: Электрические механизмы. Т. VII: Гидравлические и пневматические механизмы. – 2-е изд., переработанное. – М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 784 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ТОРЦЕВЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Брагина Н.С., Ваняйкин А.Г.

Научный руководитель: Встовский С.А., к.т.н., доцент

Сибирский федеральный университет,660049, Россия, г. Красноярск, ул. Ленина70
E-mail: wstw2@mail.ru

Асинхронные микродвигатели – важнейшая часть бытовых электроприборов (БЭП). В стиральных машинах, холодильниках, соковыжималках применяется конденсаторные двигатели, а в деревообрабатывающих, металлообрабатывающих станках бесконденсаторные. Простота изготовления, сравнительно невысокие затраты, технологичность, надёжность, хорошие энергетические показатели – всё это способствует увеличению потребности в двигателях этого типа.

Асинхронные микродвигатели классической цилиндрической конструкции при перечисленных выше достоинствах обладают рядом недостатков: большой отход электротехнической стали при производстве магнитопровода статора; относительная надёжность всыпной обмотки и высокий расход обмоточного медного провода, обусловленный увеличением лобовых частей обмотки; низкая конструктивная приспособляемость двигателя в ряде БЭП. Кроме того классическая схема магнитопровода статора не позволяет существенно уменьшить ширину зубца и, соответственно, спектр высших пространственных гармоник магнитного поля в зазоре машины, что снижает массогабаритные, энергетические и пусковые показатели.

Потребительские свойства БЭП зависят от конструктивной приспособляемости электродвигателя, его массы, габаритов, энергопотребления. Создание конкурентоспособной электротехники не возможно без новых конструкций энергосберегающих и одновременно менее материалоёмких и трудоёмких электродвигателей. В Сибирском Федеральном Университете при участии авторов спроектированы торцевые асинхронные двигатели (ТАД) с измельчённой зубцово-пазовой структурой статора. Основной особенностью ТАД является замена статора классического исполнения с зубцово-пазовой структурой и всыпной обмоткой на статор с составным магнитопроводом, имеющим максимальное количество зубцов и пазов, и распределённую обмотку статора с рядовой укладкой проводников.

Конструктивно двигатели выполнены следующим образом (рис. 1.).

Ярмо статора 1, выполненное в виде тороида из ленты электротехнической стали, впрессовано в пластмассовое основание статора 2. К ярму статора крепятся своей активной частью обмоточные модули 3, состоящие из перемежающихся слоёв обмоточного провода и ферромагнитных пластин, являющихся зубцами. Плоский ротор состоит из магнитопровода 4 с короткозамкнутой алюминиевой обмоткой 5. Магнитопровод ротора изготовлен из ленточной электротехнической стали (операция, аналогичная намотке ярма статора) с одновременным изготовлением пазов под обмотку. Ротор соединён вставкой 7 с валом 6.

Катушечная группа (обмоточный модуль) состоит из двух активных пакетов, соединённых в процессе намотки лобовыми частями.

Указанное построение активных зон двигателя позволяет снять ряд ограничений конструктивного и технологического порядка.

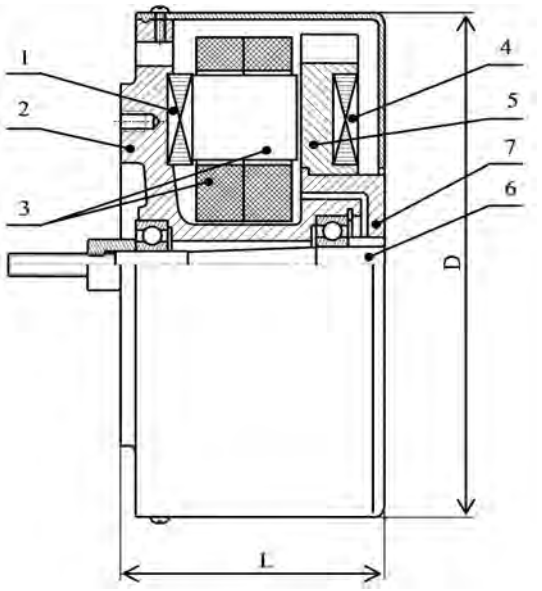


Рис. 1 –Конструкция ТАД

Отказ от штамповки пазов статора увеличивает число его зубцов в 2 – 3 раза, что существенно уменьшает высшие пространственные гармоники магнитного поля в воздушном зазоре, оказывающие негативное влияние на выходные характеристики двигателя. Машина с такой активной зоной статора может рассматриваться как машина с максимально большим числом пазов, что обеспечивает принципиально малое содержание высших пространственных гармоник в рабочем зазоре, и как следствие снижается уровень потерь, ликвидируются провалы в кривой момента. Кроме того, конструктивная измельченность статора способствует выравниванию температурного поля в активной части статора и относительное (по сравнению с всыпной обмоткой зубцово-пазовой структуры) повышение допустимой плотности тока в актив-

ных проводниках без изменения их класса. Рядовая укладка проводников обмотки существенно снижает межвитковое напряжение, повышая надёжность двигателя. Наличие второго технологического зазора между ярмом и зубцами статора приводит к снижению амплитуд высших гармоник магнитного поля в зазоре машины. Отпадает необходимость в подшипниковых щитах, масса которых составляет 10 – 12% массы двигателя, а трудоёмкость их изготовления 20 – 25% общей трудоёмкости. В качестве конструкционного материала может использоваться пластмасса, что существенно упрощает технологию сборки.

В ТАД существенно снижен расход электротехнической стали, так как магнитопроводы этих машин выполнены по безотходной технологии. Ярмо статора намотано из ленты электротехнической стали, ширина которой равна высоте ярма. Коэффициент использования стали равен единице.

Зубцы статора выполнены из ленты электротехнической стали, ширина которой равна активной длине двигателя. Торцы зубцов, прилегающие к ярму двигателя, шлифуют. Коэффициент использования стали с учетом шлифовки 0,97 – 0,99.

Магнитопровод ротора выполнен из ленты, ширина которой равна высоте магнитопровода ротора. Ленту пропускают через пресс, где с помощью кондуктора штампуют пазы. Коэффициент использования стали 0,9 – 0,92. Общий коэффициент использования стали при изготовлении ТАД – 0,93 – 0,95, что позволяет отнести рассмотренную конструкцию магнитопроводов статора и ротора к безотходной.

Для проектирования конденсаторных торцевых асинхронных двигателей (КТАД) и бесконденсаторных асинхронных двигателей (БТАД) построены свои расчетные модели. Модели данных двигателей разделены на зоны с наиболее характерными по конструктивной анизотропии свойствами: ярмо статора, технологический зазор, слой зубцово-пазовый статора, рабочий зазор, зубцово-пазовый слой ротора и ярмо ротора. В результате аналитического исследования электромагнитного поля в активном объёме ТАД получены выражения для компонент векторов электромагнитного поля (вектора магнитной, электрической напряженностей и магнитной индукции) в каждой зоне расчётной модели на основании уравнений Максвелла. Найденные компоненты векторов электромагнитного поля явились исходными для вывода выражений токов, мощности и моментов ТАД. Механическая мощность прямого поля КТАД, развиваемая двигателем, выражена через поток вектора Пойтинга:

$$P_{MX\nu}^{\Pi} = \frac{16 \cdot f_1 \cdot (1-s) \cdot p \cdot l_\delta \cdot \mu_0}{\nu \cdot h_{z1}^2 \cdot b_{\text{п}1}^2} \cdot \cos^2 \nu \left(\frac{\pi}{4} + \alpha \right) \cdot$$

$$\text{Re}\left| \dot{I}_{\text{Р}} \cdot u_{\text{Р}} + \dot{I}_{\Pi} \cdot u_{\Pi} \cdot e^{-j\nu\frac{\pi}{2}} \right| \cdot \text{Re}\left| \dot{A}_{5\nu} \cdot \overset{*}{A}_{4\nu} - \dot{A}_{4\nu} \cdot \overset{*}{A}_{5\nu} \right|$$

где p – число пар полюсов; f_1 – частота сети; l_δ – активная длина проводника статора; h_{z1} – высота пластины обмоточного модуля статора; $b_{\text{П}1}$ – ширина паза статора; μ_0 – магнитная проницаемость воздушного зазора; α – пространственный угол расположения пакетов обмотки статора; $\dot{I}_{\text{Р}}$, $\dot{I}_{\Pi}$ – комплексные токи рабочей и пусковой обмоток двигателя. Мощность обратного поля определена аналогично.

Исследования электромагнитного поля в активном объёме КТАД и БТАД позволили создать его математическое описание в виде аналитических зависимостей выходных характеристик электрической машины от геометрии и обмоточных данных с учетом высших пространственных гармоник магнитного поля в воздушном зазоре.

Проектирование ТАД проведено с использованием разработанных пакетов прикладных программ электромагнитного расчёта и оптимизации геометрии в среде MathCad и Delphi. В качестве методов оптимизации применены методы однофакторного анализа и многокритериальной оптимизации Соболя-Статникова. Целью оптимизационных расчётов являлось отыскание оптимальных геометрических и массогабаритных показателей при приемлемых выходных характеристиках двигателя и энергетических показателях. В табл. 1 приведено сравнение КТАД мощностью 90, 120 Вт, синхронной частотой вращения 1500 об/мин с серийно выпускаемыми двигателями серии КД аналогичной мощности.

Таблица 1

Сравнительные характеристики

Наименование	КТАД-90-4	КД-90-4/56РТ	КТАД-120-4	КД-120-4/56РТ
Мощность, Вт	90	90	120	120
Частота вращения, об/ми	1350	1380	1350	1380
КПД, о.е.	0,49	0,45	0,57	0,48
Кратность пускового момента, о.е.	0,75	0,65	0,65	0,55
Масса двигателя, кг	2,7	3,2	3,1	3,85

Спроектированные двигатели обладают меньшей массой и габаритами по сравнению с серийно выпускаемыми двигателями соответствующих типоразмеров. Имеют улучшенные пусковые характеристики, а также более высокий коэффициент полезного действия. КТАД прошли государственные испытания и показали соответствие расчетных и экспериментальных данных 93–95%.

Список литературы

1. Патент №2246167 Российская Федерация, МПК[7] H 02 K 21/24 / Торцевая электрическая машина / М.П. Головин, А.Л. Встовский и др.; заявка № 2003127811/06; от 24.07.03; опубл. 10.02.05, Бюл. №4. – 4с.: ил.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ИНТЕРГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ДПФ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЕРИОДА

Бутина Ю.А.

Научный руководитель: Гольдштейн Е.И. к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: julia19may2006@sibmail.com

В настоящее время знание периода сигналов, описывающих процессы в различных системах, весьма полезно. Однако стоит отметить, что в некоторых случаях получить достоверные результаты без этого практически невозможно.

Применительно к проблематике, данное обстоятельство можно проиллюстрировать на процедурах, где встречается число отсчетов N на периоде T_c с шагом дискретизации Δt:

$$N = \frac{T_c}{\Delta t}. \qquad (1)$$

В работе представлена процедура определения периода сложных интергармонических сигналов (сигналов, в которых не выполняются условия гармоничности $f_k=kf_1$; $k=2, 3, 4\ldots$).

Особо следует отметить, что рассматриваемый вопрос важен, например, для анализа процессов в устройствах типа асинхронных двигателей, у которых частота вращения $n_{вр}$ не постоянна, причем $n_{вр}<n_{статора}$.

Для определения периода сложных интергармонических сигналов предлагается использовать процедуру, предполагающую исключение постоянной составляющей путем дифференцирования исследуемой функции.

При реализации разработанной процедуры определения периода сложных интергармонических сигналов было рассмотрено численное дифференцирование – определение массива мгновенных значений производной сигнала по времени по массиву мгновенных значений этого же сигнала.

Из большого числа известных формул численного дифференцирования [1] в дискретизированной электротехнике нашли применение формула дифференцирования после сглаживания (2) и явная трехточечная формула (3):

$$\dot{a}(t_j) = \frac{1}{12\cdot\Delta t}[(a(t_{j-2}) - a(t_{j+2})) - 8(a(t_{j-1}) - a(t_{j+1}))]\Big|_{j=1}^{N}; \qquad (2)$$

$$\dot{a}(t_j) = \frac{d}{dt}a(t_j)\Big|_{j=1}^{N} = \frac{a(t_{j+1}) - a(t_{j-1})}{2\cdot\Delta t}\Big|_{j=1}^{N}. \qquad (4)$$

Легко видеть, что рассматриваемые формулы отличаются друг от друга количеством учитываемых при дифференцировании точек на основной кривой $\dot{a}(t_j)$ – пять в (2) и три в (3) формулах.

Воспользуемся формулой дифференцирования после сглаживания (2), которая обеспечивает меньшее влияние случайных ошибок опытных данных.

Далее находим сумму всех значений продифференцированной функции $\dot{a}(t_j)$ при разбиениях $j = 1...N$, фиксируя t_j

$$z = \sum \dot{y}(t_j) \qquad (4)$$

Так как в функции $\dot{a}(t_j)$ заведомо нет постоянной составляющей, то период будет определен в том случае, когда сумма значений функции (z) будет равна или близка к нулю.

Проверка работоспособности предлагаемой процедуры была проведена на массиве мгновенных значений тока фазы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при частоте $f=50$ Гц и шаге дискретизации $\Delta t = 0{,}000625c$ (см. рис. 1).

Видим, что на рис. 1 имеется постоянная составляющая.

За нулевой отсчет принят отсчет, выделенный на рис. 1 выделенный крестиком (x).

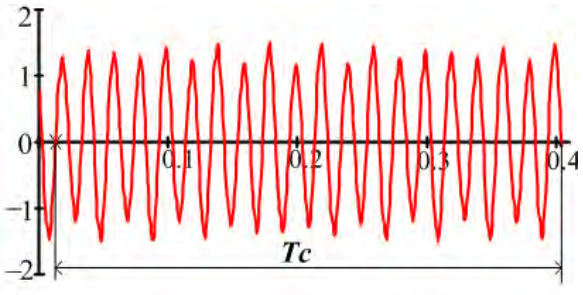


Рис. 1. Осциллограмма тока фазы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Просуммировав значения по формуле (4), получим $z = 0{,}00033$ при периоде сигнала $T_c = 0{,}400625$ с.

При известном периоде анализируемой функции, используя формулы дискретного преобразования Фурье (5), получим значения амплитуд основных составляющих тока статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Результаты расчетов использованы при построении амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) тока статора (см. рис. 2).

$$A_к = \frac{2}{NT}\sum_{n=1}^{NT} a(t_j)\cos(n\frac{2\pi}{T}t);$$
$$B_к = \frac{2}{NT}\sum_{n=1}^{NT} a(t_j)\sin(n\frac{2\pi}{T}t); \quad (5)$$
$$C_к = \sqrt{A_к^{\,2} + B_к^{\,2}}.$$

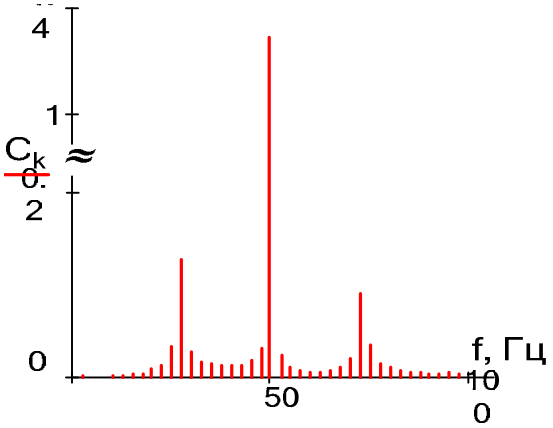


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика тока статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для оценки качества спектрального анализа, определим среднеквадратическое отклонение (СКО) по формуле (6) из [2]:

$$СКО = \left[\frac{\sum_{j=1}^{N}[i_a(t_j) - i_u(t_j)]^2}{N}\right]^{0.5} \quad (6)$$

В формуле (6) $i_u(t_j)$ – исходная функция тока фазы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; $i_a(t_j)$ – аппроксимирующая функция (см. рис. 3).

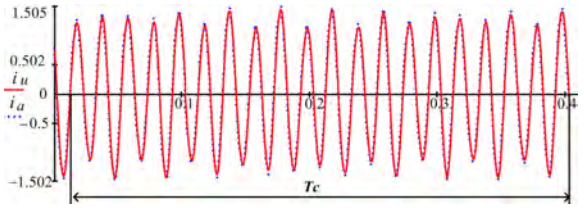


Рис. 3. Осциллограмма тока фазы асинхронного с короткозамкнутым ротором – исходная (сплошной линией) и аппроксимирующая (точками)

Легко видеть, что расчетная осциллограмма тока фазы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором полностью совпадает с исходной (см. рис. 3).

По формуле (6) среднеквадратическое отклонение составляет *0,026*.

На основе проведенных исследований можно утверждать, что предлагаемая методика дискретного преобразования Фурье с предварительным определением периода интергармонического сигнала вполне работоспособна, не требует большого объема вычислений и значительных временных затрат.

Список литературы

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
2. Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения / В.С. Аврамчук, Н.Л. Бацева, Е.И. Гольдштейн, И.Н. Исаченко, Д.В. Ли, А.О. Сулайманов, И.В. Цапко / под ред. Е.И. Гольдштейна. – Томск: Печатная мануфактура, 2003. – 240 с.
3. Гольдштейн Е.И., Бацева Н.Л., Джумик Д.В., Усов Ю.П. Диагностирование электрических цепей: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 152 с.
4. Копылов И.П. Электрические машины: учебник для вузов. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2004. – 607 с.
5. Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов: практикум: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 100 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ван Бо

Научный руководитель: Усачева Т.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: UsachevMV@mail2000.ru

Асинхронные двигатели – наиболее распространенный вид электрических машин, потребляющие в настоящее время около 60% всей вырабатываемой электроэнергии.

В настоящее время с целью усовершенствования асинхронных двигателей актуально создавать алгоритмы их модернизации для системы автоматизированного проектирования, основой которых является математическое моделирование.

Математическое моделирование опирается на взаимосвязь фундаментальных наук с прикладными науками. Основой для построения математических моделей являются физические законы, определяющие принципы функционирования технических объектов. Физические закономерности, имеющие существенное значение необходимо математически описать. При математическом моделировании стоит задача в выборе соответствую-

щих методов решения уравнений математических моделей. Для задач, которые в настоящее время представляют интерес, решение находится приближенно с использованием методов аппроксимации и численного анализа. В заключение построения математической модели ведется подготовка ее к решению с использованием компьютера. На данном этапе необходимо разработать алгоритм и составить программу расчетов с учетом типа компьютера. При этом важно максимально использовать возможности современной вычислительной техники с целью экономии затрат на подготовку программы, исходных данных и обработку полученных результатов. Существенно также снижение затрат машинного времени на решение математической модели[1].

Цель работы: рассмотреть актуальность и возможность построения математической модели оценки влияния электромагнитных нагрузок на показатели качества асинхронных двигателей.

За основу математической модели оценки влияния электромагнитных нагрузок возьмем стандартную методику электромагнитного расчета асинхронных двигателей[2], которая используется при проектировании электрических машин. Данная методика представляет собой физическую модель асинхронной машины в математической форме на обычном алгебраическом языке, а результаты расчетных экспериментов удовлетворяют допустимой погрешности.

Исходными данными математической модели являются основные электрические величины (мощность машины, номинальное линейное напряжение, частота сети, синхронная частота вращения, количество пар полюсов и так далее).

Модернизация асинхронных двигателей, прежде всего, должна быть направлена на поиск более эффективного варианта асинхронного двигателя, который может обеспечить выполнение обозначенных задач лучше других. Именно здесь возникает необходимость в оптимизации показателей качества асинхронных двигателей, оценивающих качество машины.

Показатели качества для асинхронных двигателей, установленные государственными и отраслевыми стандартами, которые будем рассматривать в работе, следующие: коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, кратность максимального вращающего момента, кратность пускового вращающего момента, кратность пускового тока, скольжение при номинальной нагрузке. Номинальные значения и допуски на показатели качества рассчитаны по ГОСТу 183 – 74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования».

В настоящее время улучшение показателей качества асинхронных двигателей достигается, в основном за счет повышения качества материалов, применяемых в изготовлении. В связи с этим в процессе проектирования большую роль играют электромагнитные нагрузки (индукция в воздушном зазоре и линейная нагрузка), так как от их выбора зависят главные размеры асинхронного двигателя. Электромагнитные нагрузки определяют эффективность использования объема активной части машины – чем больше электромагнитные нагрузки, тем больше коэффициент использования объема активной части. Следует учесть, что на характеристики двигателя оказывает существенное влияние и соотношение между линейной нагрузкой и индукцией в воздушном зазоре.

Значения электромагнитных нагрузок задаются в виде рекомендаций в соответствующих расчетных методиках и служат основой для правильного выбора объема активной части. С развитием теории и практики электромашиностроения коэффициент использования объема активной части двигателей повышается.

Значит, электромагнитные нагрузки влияют на габариты, материалоемкость, энергетические показатели электрических машин и для построения математической модели их можно рассмотреть в качестве ресурсосберегающих варьируемых величин.

В качестве независимых переменных можно выбрать изменения длин сердечников статора и ротора, так как изменение геометрии поперечного сечения двигателя повлечет за собой изменение штампов для изготовления, потребует больших капитальных затрат на литейное, штамповочное, механообрабатывающее и другое оборудование. Все это непозволительно дорого и неоправданно в современных рыночных условия, а при изменении длин сердечников необходимо только перенастроить оборудование.

Расчет асинхронного двигателя при изменении длины сердечника статора, без изменения поперечного сечения (наружный диаметр сердечника статора постоянный) за счет изменения линейной нагрузки можно произвести для двух вариантов: постоянного и переменного – числа витков в фазе [3].

Для оценки влияния электромагнитных нагрузок можно дать количественную оценку изменения материалоемкости асинхронного двигателя. Для определения потенциальных возможностей изменения материалоемкости конструкции двигателей произведем расчет разницы материалоемкости модернизированного асинхронного двигателя от базового и удельной материалоемкости модернизированного асинхронного двигателя (количество материалов на единицу мощности).

Структурная схема математической модели оценки влияния электромагнитных нагрузок на показатели качества асинхронных двигателей представлена на рис. 1.

В процессе работы будут исследованы изменения длин сердечников статора, в сторону уменьшения и увеличения, с учетом изменения электромагнитных нагрузок, а полученные при расчетах показатели качества служить ограничениями.

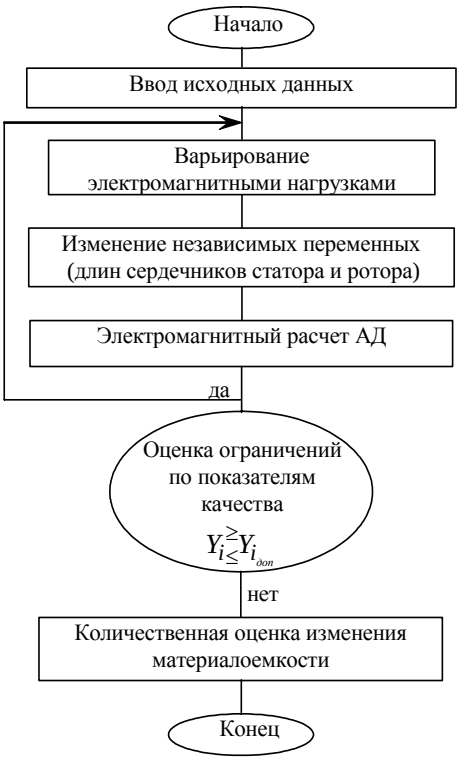


Рис. 1. Структурная схема математической модели оценки влияния электромагнитных нагрузок на показатели качества асинхронных двигателей

Асинхронные двигатели серии АД все равно остаются в большей мере тяжелыми по конструктивной массе, и есть необходимость продолжить поиск решений в выбранном направлении. Таким образом, будем исследовать влияние электромагнитных нагрузок на показатели качества и материалоемкость асинхронных двигателей с целью повышения энергетических показателей – коэффициента полезного действия, коэффициента мощности. Использование данной математической модели позволит получить асинхронный двигатель без изменения геометрии поперечного сечения с измененной длиной сердечника статора за счет увеличения или уменьшения линейной нагрузки без снижения заданного уровня качества.

Список литературы

1. Чучалин А.И. Математическое моделирование в электромеханике. Учебное пособие. – Изд. ИПФ ТПУ , 1997. – 170 с.
2. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / И.П. Копылов и др.; под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 2002. – 767 с.: ил. (12).
3. Батищев А.В., Усачева Т.В. Исследование материалоемкости асинхронных двигателей. XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 г.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Васбеев Р.Р.

Научный руководитель Попов В.И. , к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: rimmir@sibmail.com

Прогресс в области экспериментальных научных исследований и развитие производства на основе применения новых технологий во многом зависят от совершенствования используемого электротехнического оборудования. Многие электрофизические устройства работают в импульсном режиме. Элементы этих устройств и происходящие в них процессы составляют содержание импульсной техники. Импульсная электроэнергетика является одной из отраслей техники. Она составляет базу в радиолокации, в изучении космического пространства, в лазерной технике и др.

Проблемой импульсной электроэнергетики является создание импульсных систем питания автономных электрофизических устройств. Применение емкостных накопительных конденсаторов на большие значения энергии и высокие напряжения ставит задачу разработки нетрадиционных конструкций первичных источников и поиски рациональных систем зарядки емкостных накопителей энергии. При этом выбор первичного источника обусловлен как экономическими соображениями, так и энергетическими характеристиками всей установки [1].

В автономных импульсных устройствах с использованием емкостного накопителя энергии всегда должен быть источник питания. В качестве источника энергии используют, как правило, вращающиеся электрические машины, работающие в импульсном или повторно-кратковременных режимах. При этом электрическую машину следует рассматривать как некоторый инерционный накопитель энергии. Обычно для этих целей применяют синхронный генератор традиционной конструкции с маховиками для увеличения запаса кинетической энергии, что приводит к увеличению массы машины. С целью снижения массы источника целесообразно применять машины нетрадиционной торцевой конструкции. В этих машинах возможно совмещение функций индуктора и ма-

ховика. Такая конструкция позволяет существенно повысить запас кинетической энергии.

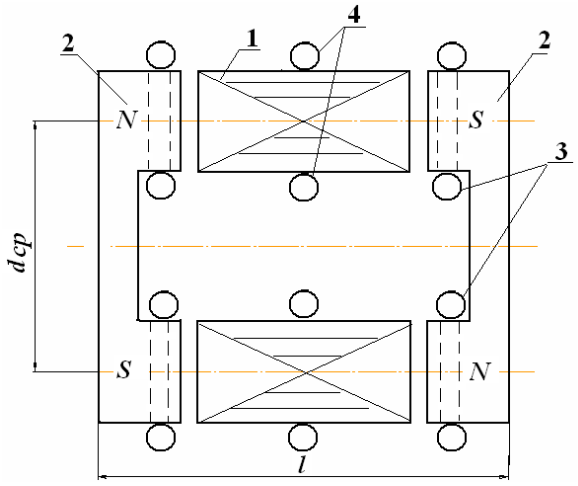


Рис. 1. Конструктивная схема активной части торцевого высоковольтного генератора

На рис. 1 представлена конструктивная схема генератора нетрадиционной конструкции. Статор генератора представляет собой ряд аксиальных шихтованных из электротехнической стали зубцовых вставок 1, изолированных друг от друга. Вставки равномерно распределены по окружности и укреплены в кронштейнах-держателях, выполненных из прочного изоляционного материала, например, стеклотекстолита. На изоляционных каркасах вставок уложены слоевые обмотки якоря 4, выполненные по типу слоевых трансформаторных высоковольтных обмоток трапецеидального поперечного сечения. При практическом исполнении такого статора в трехфазной машине достаточно шести зубцовых вставок. Такая конструкция позволяет выполнять статор разъемным, что существенно упрощает в дальнейшем полную сборку машины. Статор располагается между дисками двухпакетного ротора. Диски-индукторы 2 с укрепленными на их полюсных выступах обмотками возбуждения 3, расположены с торцов статора. В такой конструкции в отличие от машин цилиндрического исполнения отсутствует спинка якоря, что существенно сказывается на улучшении массогабаритных показателях машины. С точки зрения повышения энергетических показателей машины, автономных источников питания накопителей энергии, целесообразно увеличение момента инерции роторов за счет увеличения их массы.

При этом до 40 % освободившейся массы из-за отсутствия спинки якоря возможно перенести в маховые массы ротора, и тем самым существенно повысить его инерцию. Кроме того,такая операция «переноса» позволяет выполнить машину ненасыщенной, что при форсировке возбуждения обеспечивает линейное нарастание напряжения и соответственно высокий КПД зарядки емкостных накопителей при использовании их в автономных устройствах.

Для оценки массы, габаритов и энергетических возможностей торцевых электрических машин проведены расчеты высоковольтных генераторов мощностью $P = 60$ кВт, частотой вращения n = 3000 об/мин и напряжением $U = 100$ кВ по методике изложенной в [2]. В расчетах указанные величины остаются постоянными, варьируется только средний диаметр пакета ротора.

Кинетическая энергия ротора определялась по формуле:

$$W_к = m_и \left(\frac{d_{ср}\Omega}{4} \right)^2, \text{ Дж}$$

где $d_{ср}$ – средний диаметр витого пакета ротора; Ω – угловая частота вращения, которая определяется как:

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}, \text{ 1/с}$$

$m_и$ – суммарная инерционная масса ротора.

Удельная масса рассчитывалась по формуле:

$$\rho_m = \frac{m_n}{d_{ср}^2 l}, \text{ кг/м}^3$$

где l – длина активной части машины; m_n – полная масса машины.

Результаты расчетов представлены на рис. 2–6.

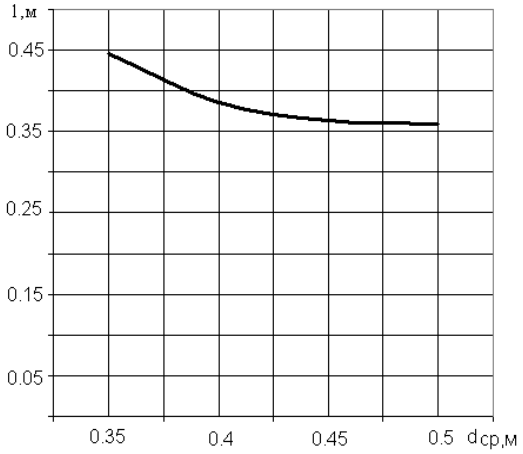


Рис 2. Осевой габарит l машины

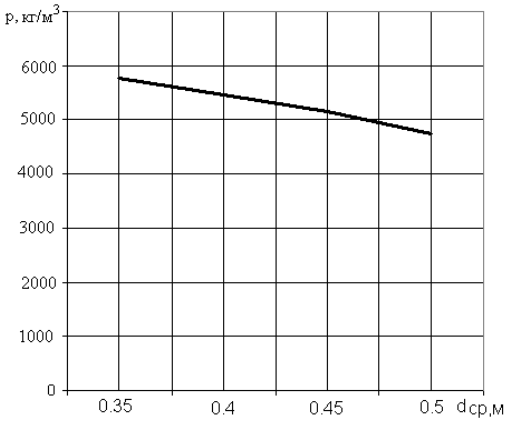


Рис 3. Удельная масса

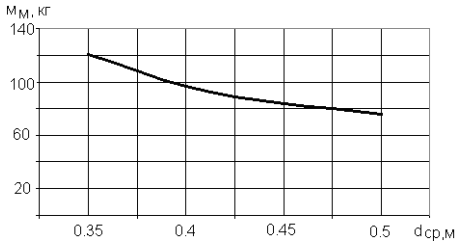


Рис 4. Суммарная масса меди машины

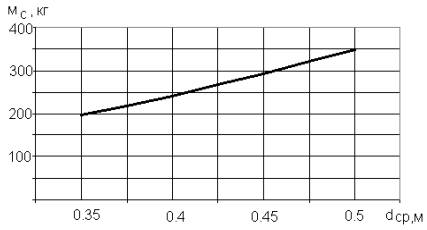


Рис 5. Суммарная масса стали машины

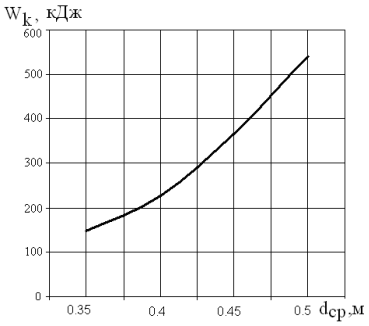


Рис 6. Кинетическая энергия ротора торцевой машины

Торцевые электрические машины имеют ряд преимуществ по сравнению с машинами нормальной конструкции. К этим преимуществам относится следующее: меньшие массы и габаритные размеры; большая жесткость конструкции. Эти преимущества позволяют повысить использование машины в целом, а также улучшить механические и эксплуатационные характеристики.

К существенным преимуществам торцевого синхронного генератора, используемого в системах накопления энергии, относятся большой момент инерции его вращающихся частей, что позволяет запасать в маховых массах значительную кинетическую энергию. С этой целью автономные высоковольтные генераторы наиболее целесообразно выполнять в виде торцевых дисковых.

Список литературы

1. Попов В.И., Автономный высоковольтный комплекс. Патент Российской Федерации на полезную модель № 57532, реестр полезных моделей РФ, 10.10.2006.
2. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П., Токарев Б.Ф. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / П79 под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.: ил.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТИХИХОДНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Волков К.В.

Научный руководитель: Муравлев О.П.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: costa@sibmail.com

Важной задачей в современном проектировании и эксплуатации исполнительных органов полезной нагрузки, в составе космического аппарата является создание оборудования, в частности электропривода, способного работать с высокой производительностью при малых энергозатратах и с длительным сроком эксплуатации в условиях исключающих присутствие человека.

Электропривода в составе космического аппарата применяются системе гироскопа, устройств ориентации на землю, систем поворота солнечных батарей и антенно-фидерных устройств [1].

В аэрокосмической отрасли используются различные типы двигателей, но критерии выбора их практически не отличаются. Области применения приводов в составе КА: *Прибор ориентации на Солнце (ПОС),* предназначен для определения положения Солнца в приборной системе координат. *Прибор ориентации на Землю (ПОЗ),* предназначен для выдачи информации по двум координатам об углах отклонения (тангаж и крен). *Устройство поворота батареи солнечной (УПБС).* УПБС предназначен для вращения солнечной батареи с целью ориентации ее на Солнце и передачи электрической энергии с БС блоку электронного регулирования. Механический блок содержит двигатели, редуктор, датчик угла поворота и устройство токосъемное. *Привод двигателей коррекции.* Привод предназначен для углового перемещения блока двигателей коррекции наклонения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с целью: компенсации возмущений, обусловленных отклонением вектора тяги двигателей коррекции от центра масс КА и взаимодействием продуктов истечения двигателей КА; разгрузки управляющих двигателей-маховиков спутниковых систем связи (СОС).

Существующие технические решения в составе космического аппарата. ГЛОНАС: Привод предна-

значен для реверсивного кругового вращения панелей солнечных батарей, передачи электроэнергии и информационных сигналов с панелей солнечных батарей на спутник, а также передачи управляющих сигналов со спутника на панели.

Основные технические характеристики:

1) скорость поворота выходного вала привода в режимах: • Поиск: (8 ± 0,008) угловой градус/мин;

2) в штатном режиме: (0–8) угловой градус/мин в соответствии с цифровым управляющим кодом.

3) предельная суммарная погрешность измерения углов: не более 25 минут. 3. Момент, развиваемый приводом: 5 кгс · метр. 4. Масса привода: 22,7 кг.

Система ориентации солнечных батарей малых космических аппаратов. Состав системы: 2 блока привода, 1. Угол разворота СБ: не ограничен, 2. Скорость разворота СБ: 0 – 0,6 ^{0}/с, 3. Максимальный момент инерции на валу привода относительно оси вращения,: 100 кг·м^2, 4. Максимальная потребляемая мощность: 20Вт, Среднесуточное потребление: 3Вт, 5. Масса системы: 18 кг.

Система ориентации солнечных батарей (система Р10) космического аппарата «КОНДОР-Э». Система ориентации солнечных батарей (СБ) космического аппарата «Кондор-Э» предназначена для независимой ориентации левой и правой панелей СБ путем поворота вокруг осей, параллельных вектору направления полёта (ориентация по крену), и поворота вокруг продольных осей панелей СБ (ориентация по тангажу). Ориентация осуществляется по командам локального контроллера бортовой вычислительной сети в зависимости от положения Солнца относительно осей космического аппарата и сигналов положения панелей СБ, формируемых в системе ориентации. В процессе ориентации система ориентации солнечных батарей обеспечивает транзитную передачу электроэнергии, генерируемой СБ, и транзитную передачу сигналов от приборов, установленных на панелях СБ. Состав системы: 4 блока электроприводов, 1. Угол поворота панелей СБ: при ориентации по крену – 180^o; при ориентации по тангажу – 240^o. 2. Максимальная скорость поворота панелей СБ: при ориентации по крену – 0,25^o/с; при ориентации по тангажу – 0,75^o/с. 3.Максимальная потребляемая мощность: 20Вт. 4.Масса системы: 21,5 кг.

В перспективе будут создаваться сверхмощные космические аппараты, для которых необходимо разработать устройства поворота солнечных батарей, обеспечивающих управление панелями солнечных батарей мощностью 16–17 кВт. Такие аналоги уже есть за рубежом, следовательно, решение этих задач имеет большие перспективы развития.

Как видно из анализа основные требования к тихоходным электродвигателям состоят из общих требований к электрическим машинам независимо от выполняемых функций, принципа действий и конструкций. Такими требованиями являются а) высокие энергетические показатели – коэффициент полезного действия и коэффициент мощности б) низкая стоимость в) ремонтопригодность г) простота конструкции. По мимо выше перечисленных характеристик зачастую в различным системах существует необходимость выполнения условий по обеспечению высоких велечин статического и пускового момента на валу, а также минимальных габаритов и массы при заданных выходных параметрах.

Существующие системы управления СДПМ

Постоянное удешевление магнитных материалов, в частности, внедрение сплавов редкоземельных металлов, совершенствование аппаратной базы управления делают возможным использование этого типа двигателей в тех областях, где традиционно применялись двигатели постоянного тока (ДПТ) или асинхронные двигатели (АД). Использование СДПМ как альтернативы ДПТ в регулируемом приводе стало возможным с появлением соответствующей преобразовательной и цифровой вычислительной техники. Прежде всего, это связано с внедрением преобразователей на транзисторах с изолированным затвором (Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)), использованием принципов широтно-импульсной модуляции (ШИМ, Pulse Width Modulation (PWM)), преобразования переменного тока в переменный (АС-АС).

Можно выделить следующие основные приоритеты развития алгоритмов управления.

1. Точность отработки программного задания (скорости или положения ротора). В отношении СДПМ это требование актуально в смысле возможных подсинхронных колебаний скорости ротора.2. Нечувствительность к неопределенностям параметров СДПМ и помехам. При наличии больших коэффициентов усиления регуляторов, обеспечивающих робастность системы, последняя становится чувствительной к высокочастотным помехам. 3. Минимизация электропотребления. Разработка алгоритмов, оптимизирующих потребляемую приводом мощность как в статических, так и в динамических режимах, может быть осуществлена за счет размагничивающих токов продольной оси. 4. Расширение диапазона регулирования в сторону малых скоростей. Проблема связана с влиянием пульсаций момента на малых скоростях. При больших скоростях пульсации момента не оказывают существенного влияния, т. к. они фильтруются за счет инерционности ротора. 5. Уменьшение количества датчиков. 6. Простота алгоритмов в аспекте вычислительной нагрузки.

Из наблюдаемой динамики роста популярности СДПМ можно сделать вывод о необходимости разработки алгоритмов управления, связанных с использованием прямого управления моментом, на-

блюдателей состояния и неопределенностей, адаптивных алгоритмов и нейронных сетей, алгоритмов управления, обеспечивающих оптимизацию потребляемой мощности и показателей качества.

Прямое управление моментом (Direct Torque Control (DTC)) может быть осуществлено при питании синхронного двигателя от инвертора тока. Такие системы обладают рядом преимуществ: достигается робастность по отношению к разбросу параметров, упрощается алгоритм управления за счет отсутствия токового контура регулирования, обеспечивается высокое быстродействие системы. Однако метод не избавлен от серьезного недостатка: при малых углах нагрузки возникают пульсации момента и колебания скорости ротора. Нейронные сети (Neuron Network), использованные для построения алгоритма управления СДПМ от инвертора переменный ток – переменный ток (АС-АС) представляют собой самообучающиеся сети, включающие в себя три слоя нейронов – входной, скрытый и выходной. Обучение влияет на значение весовых коэффициентов в передаточных функциях нейронов.

Качественно новым методом управления СДПМ является использование наблюдателя неопределенностей (Uncertainties Observer). Это направление в данной области получило развитие в самое последнее время. Суть систем, построенных по такому принципу, состоит в сведении неопределенностей параметров и внешних возмущений в единый вектор неопределенностей, его оценка и компенсация с помощью наблюдателя, а также задание степени робастности путем его настройки. Привлекательность метода состоит в том, что в качестве неопределенностей могут рассматриваться нелинейности системы, обусловленные насыщением магнитной цепи, которые прямо не отражены в уравнениях машины, но оказывают влияние на динамические процессы в приводе. Кроме того, предлагаемые алгоритмы отличаются относительной вычислительной простотой.

В большинстве работ, авторы преследуют стратегию поддержания тока Id = 0 с целью избавления от «вредного» возмущающего слагаемого в уравнении момента двигателя. Однако такой режим работы привода не является оптимальным с точки зрения потерь в меди, т. к. развиваемый двигателем момент можно достичь при меньших реальных токах. Исследования поведения СДПМ при ненулевых размагничивающих токах свидетельствуют о возможности значительного снижения энергопотребления СДПМ (на 30%).

Список литературы

1. Дробушевский В.М., Другов С.Ф., Пантелеев В.И., Стрижков А.М. Позиционный электропривод систем поворота антенн. Космические вехи сборник научных трудов ОАО ИСС им М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2009. – 704 с.
2. Леонов С.В., Фокин В.В.., Муравлев О.П. Расчёт статических характеристик низкоскоростного синхронного двигателя с концентрацией магнитного потока // Известия вузов электромеханика, 2009. – №6.

ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРЕРЫВИСТЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ТОКОВОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Воронина Н.А.

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7
E-mail: VoroninaNataly@vtomske.ru

Эффективное и экономичное использование машин переменного тока в регулируемом электроприводе связано с применением таких способов управления, при которых изменение скорости машин сопровождается изменением частоты и питающих напряжений (токов). В настоящее время практическое применение нашли приводы с токовым управлением [1].

Токовым способом управления называется такой способ, при котором в обмотки электрической машины задаются токи, мгновенные значения которых определяются входным сигналом (требуемым моментом) и угловым положением ротора машины.

Токовое управление асинхронными электроприводами характеризуются следующими показателями:

• высокие статические и динамические характеристики привода;

• исключается возможность опрокидывания и качания электродвигателей переменного тока;

• при достаточно простых технических средствах возможно оптимальное использование электродвигателей для получения как максимального момента на валу, так и высоких энергетических показателей.

Принцип работы асинхронного электропривода прерывистого движения заключается в создании шагового изменения электромагнитного поля, определяющего закон перемещения подвижного элемента двигателя [2].

Для исследования электропривода с прерывистым движением необходимо аналитически определить закон движения подвижного элемента двигателя.

При токовом питании электропривода в асинхронном двигателе с прерывистым законом движения операторные изображения функций регулирования в системе координат $\alpha, \beta, 0$ можно записать как:

$$I_{\alpha s}(p) = I_{m1} \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{1}{2} \cdot \frac{p \cdot \sin\alpha + \omega_1 \cdot \cos\alpha}{p^2 + \omega_1^2} + \\ + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} (2i-1)^{-1} \cdot \left[\begin{array}{l} \frac{p \cdot \cos\alpha - [\omega_1 - (2i-1)\Omega]\sin\alpha}{p^2 + [\omega_1 - (2i-1)\Omega]^2} - \\ - \frac{p \cdot \cos\alpha - [\omega_1 + (2i-1)\Omega]\sin\alpha}{p^2 + [\omega_1 + (2i-1)\Omega]^2} \end{array} \right] \end{array} \right);$$

$$I_{\beta s}(p) = I_{m2} \cdot \frac{p \cdot \sin\beta + \omega_2 \cdot \cos\beta}{p^2 + \omega_2^2}, \qquad (1)$$

где I_{m1}, I_{m2} – амплитуды питающих токов, α, β – начальные фазы на обмотках, ω_1, ω_2 – угловые частоты питающих напряжений, $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ – круговая частота шага.

Определив корни уравнений системы (1), $p_{1,2} = \pm j\omega_1$; $p_{3,4} = \pm j\omega_2$; $p_{5,6} = \pm j(\omega_1 - (2i-1)\Omega)$; $p_{7,8} = \pm j(\omega_1 + (2i-1)\Omega)$ значения токов во временной форме будет иметь вид:

$$i_n(t) = I_{m1} \cdot \left((-1)^{n+1} \left[\begin{array}{l} -T_{1n} \left(\begin{array}{l} \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t - \alpha - \theta_{in}) + \\ + \omega \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha + \theta_{in}) \end{array} \right) + \\ \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \left((2i-1)^{-1} \omega_1 - \Omega \right) \cdot \left[\begin{array}{l} T_{2ni} \cdot \sin \cdot \left(\begin{array}{l} [\omega_1 - (2i-1)\Omega]t + \\ + \alpha + \theta_{2ni} \end{array} \right) + \\ T_{3ni} \cdot \sin \cdot \left(\begin{array}{l} [\omega_1 - (2i-1)\Omega]t + \\ + \alpha + \theta_{3ni} \end{array} \right) \end{array} \right] \\ + \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \left((2i-1)^{-1} \cdot \omega \right) \cdot \left[\begin{array}{l} T_{2ni} \cdot \sin \cdot \left(\begin{array}{l} [\omega_1 - (2i-1)\Omega]t - \\ - \alpha - \theta_{2ni} \end{array} \right) + \\ \frac{1}{2} T_{3ni} \cdot \sin \cdot \left(\begin{array}{l} [\omega_1 + (2i-1)\Omega]t - \\ - \alpha - \theta_{3ni} \end{array} \right) \end{array} \right] \end{array} \right] \right) + \qquad (2)$$

$$+ (-1)^{n+1} \cdot I_{2m} \cdot T_{4n} \cdot \left(\begin{array}{l} \omega \cdot \sin(\omega_2 t + \beta + \theta_{4n}) + \\ + \omega_2 \cdot \sin(\omega_2 t - \beta - \theta_{4n}) \end{array} \right),$$

где T_{in}, θ_{in} – коэффициенты и начальные фазы токов, определяемые параметрами электрической машины и функциями регулирования; ω – скорость; $n = 1, 2, 3, 4$.

Полученное выражение позволяет определить сначала токи статора и ротора $i_{\alpha s}$, $i_{\beta r}$, $i_{\alpha r}$, $i_{\beta s}$, а затем электромагнитный момент электрической машины при прерывистом движении:

$$M_{эл}(t) = (i_{\alpha s}(t) \cdot i_{\beta r}(t) - i_{\alpha r}(t) \cdot i_{\beta s}(t)) \cdot L_m, \qquad (3)$$

где L_m – взаимоиндуктивность обмоток статора и ротора.

Выражение электромагнитного момента удобно представлять в виде ряда Маклорена по ω, в окрестности $\omega = 0$. При этом достаточно учесть первые два члена разложения, т. к. последующие члены ряда вносят незначительную погрешность (до 5%) вследствие сильной сходимости данного ряда.

Пренебрегая высокочастотными составляющими частоты ω_1, ω_2, и их комбинациями, для которых электрические машины являются естественным электромеханическим фильтром, пусковая составляющая электромагнитного момента будет иметь вид:

$$M_{п}(t) = M_1 \cdot \cos\Omega t + M_2 \cdot \sin\Omega t + \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \left[\begin{array}{l} \left((2i-1)^{-1} \cdot M_3 + M_4 \right) \cdot \cos(2(1-i)\Omega t) + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_5 + M_6 \right) \cdot \sin(2(1-i)\Omega t) + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_7 + M_8 \right) \cdot \cos(2-i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_9 + M_{10} \right) \cdot \sin(2-i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_{11} + M_{12} \right) \cdot \cos(2i)\Omega t + \\ + \left((2i-1)^{-1} \cdot M_{13} + M_{14} \right) \cdot \sin(2i)\Omega t \end{array} \right],$$

где M_j – величины, определяемые произведениями фазных токов.

Демпферная составляющая электромагнитного момента будет иметь вид:

$$M_{\text{демпф}}(t) = \left[M_{\text{демпф1}} + \sum_{i=1}^{\infty} \cdot \sum_{j=1}^{\infty} M_{\text{демпф}\,i\,j} \right] \cdot \frac{d\chi}{dt},$$

где $M_{\text{демпф1}}$, $M_{\text{демпф}\,i\,j}$ – величины, определяемые произведениями фазных токов и их производных в окрестности $\omega = 0$. Здесь также допустимо пренебрежение гармоническими составляющими частот питающих напряжений ввиду малости коэффициентов демпфирования на порядок.

Уравнение движения подвижного элемента электропривода можно представить как:

$$L_{\text{мех}} \frac{d^2\chi}{dt^2} + R_{\text{мех}} \frac{d\chi}{dt} = M_{п}(t) + M_{\text{демпф}}(t), \qquad (4)$$

где χ – координата подвижного элемента электропривода; $L_{\text{мех}}, R_{\text{мех}}$ – коэффициенты инерционной и демпфирующей сил нагрузки.

Совместное решение уравнений (3) и (4) позволяет определить искомый закон движения электропривода с прерывистым законом движения при заданных параметрах электрической машины, нагрузки и функций регулирования.

При учете только 1-й гармоники закон движения амплитуда шага будет определен:

$$\chi_m = \frac{M_{п}}{\sqrt{L_{\text{мех}}^2\ \Omega^2 + (R_{\text{мех}} - M_{\text{демпф}})^2\ \Omega^2}}.$$

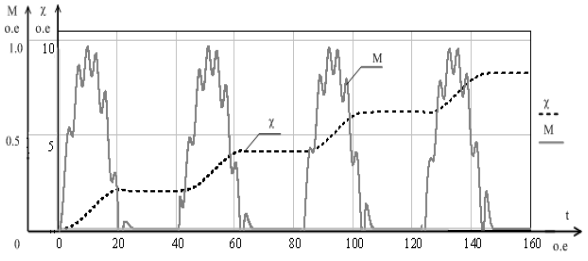


Рис. 1. Законы изменения электромагнитного момента M(t) и коэффициента подвижного элемента двигателя $\chi(t)$ *при запуске на частоту* $\Omega = 31{,}4\ рад/с$

На рис. 1 приведена характеристика электромагнитного момента $M(t)$ и закона движения подвижного элемента $\chi(t)$, рассчитанные с учетом полученных выражений.

Список литературы

1. Бродовский В.Н. , Иванов Е.С. Приводы с частотно-токовым управлением. – М., Энергия, 1974.
2. Аристов А.В., Воронина Н.А. Рабочие характеристики электропривода колебательного движения в режиме прерывистого перемещения // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 314. – №4. – С. 64–68.

ПЕРЕНОСНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРОВЕРКИ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОВОЗА

Берг А.Ю., Высоцкий С.Э., Ларин А.О.

Научные руководители: Рапопорт О.Л., к.т.н., доцент Цукублин А.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: S.Vysotski@mail.ru

Согласно регламенту РЖД, при плановых ремонтах электровозов в локомотивных депо полной проверке на работоспособность подвергается коммутационная аппаратура, расположенная внутри корпуса. Полная проверка коммутационных аппаратов осуществляется на испытательных станциях, для чего производится демонтаж аппаратов. Коммутационные аппараты расположены в труднодоступных местах, и их демонтаж представляет значительные трудности и связан с большими временными затратами. Как показывает практика ремонтов в локомотивном депо ст. Тайга до 60% демонтируемого коммутационного оборудования не требует какого-либо ремонта, либо этот ремонт может быть проведен без демонтажа с электровоза. Поэтому для убыстрения процесса ремонта электровоза необходима разработка переносного испытательного комплекса, который, не уменьшая и не упрощая диагностических исследований коммутационной аппаратуры, позволял бы проводить их на штатных позициях.

Переносной диагностический комплекс коммутационных аппаратов электровоза должен удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать требованиям п.2.6. ГОСТ 2582 – 81 по безопасности;
- осуществлять оценку работоспособности коммутационной аппаратуры (соответствие параметров срабатывания и отпускания заданным техническим характеристикам);
- быть мобильным, т. е. иметь малый вес и малые размеры;
- предусматривать возможность дальнейшей обмена информацией с внешним накопителем для протоколирования.

На рис. 1 приведена функциональная схема устройства, разбитая на составные блоки. Функциональная схема устройства содержит в себе частичную автоматизацию процесса измерения. Автоматизация осуществляется с помощью обратной связи блока измерения и блока управления.

Наличие обратной связи увеличивает надёжность и простоту использования испытательного комплекса. Схема позволяет оператору допускать некоторые незначительные ошибки, которые могут быть устранимы без отключения устройства от питания, простым нажатием кнопки «Сброс». Серьёзные ошибки, такие как замыкание выводов накоротко или переключение при максимальном уровне регулятора, устраняются после полного отключения комплекса.

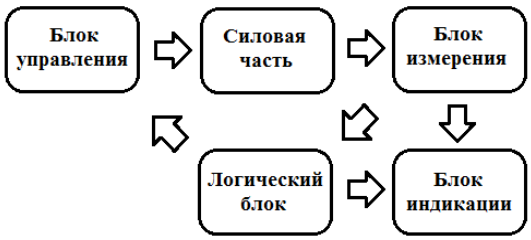


Рис. 1. Функциональная блочная схема устройства

Разработанный диагностический комплекс функционально состоит из: источника питания 2,5 кВт (на выходе 50 В, 45 А), программируемого электронного реле Easy 820-DC-RCX, амперметра, блока световой индикации (для оценки работоспособности электрических аппаратов) и блока управления испытаниями.

На рис. 2 показана принципиальная схема устройства. К силовой части схемы относятся полупроводниковые транзисторы VT типа IRF540, а также управляющая ими микросхема DA (ШИМ – контроллер) типа TL494. Им было отдано предпочтение, т. к. данные мощные полевые транзисторы (MOSFET) обладают малыми удельными тепловыми потерями, а также малой зависимостью сопротивления открытого канала от теплового режима. Эффективность схемы обеспечивается управлением ключами напряжением, что способствует уменьшению затрат энергии на управление и увеличению стабильности при длительных режимах работы.

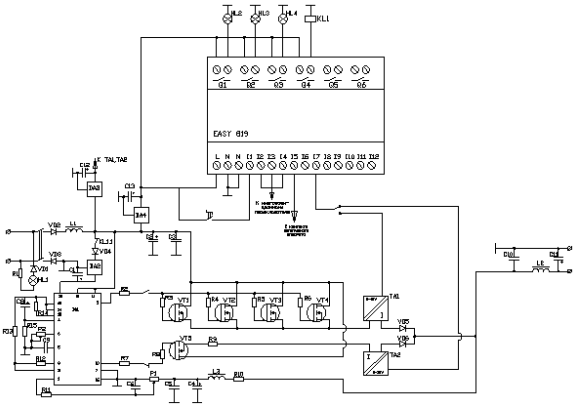


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства

К выходным выводам полупроводниковых элементов подключены датчики тока на сильно- и слаботочный режимы. Использование двух диапазонов измерений является целесообразным, так как очень важна достоверность показаний прибора при токах менее 1 А.

Сигналы с датчиков тока поступают на компараторы программируемого реле. Погрешность показаний датчиков тока на всём диапазоне измерений не превышает 3,7%. Чувствительность датчиков достаточна, чтобы воспринимать малейшие изменения тока, протекающего в цепи, в связи, с чем в корпус устройства были установлены дополнительные экранные перегородки, а сигнальные провода помещены в сетчатые экранирующие оплётки.

Переключение виртуальных схем сравнения осуществляется двоичным кодом при помощи многопозиционного переключателя.

Программируемые реле Easy является наиболее простыми программируемыми управляющими приборами, способными решать комбинационные и последовательные задачи. Программирование реле производится на ПК при помощи программы EASY-SOFT. Само программирование производится при помощи, так называемой схемы соединений, которая описывает электрические цепи. Схема соединений легко имитируется на ПК и замкнутые цепи отображаются с выделением. Это значительно упрощает выполнение наладки и проверки логики работы.

Созданная программа сохраняется постоянно в Easy до возможной следующей модификации. Дополнительное вспомогательное напряжение или батарейки не нужны. От перебоя в подаче тока релейные схемы и параметры защищены. Easy кроме этого запоминает коммутационные состояния или значения (так называемая нестираемая память).

Программируемое реле Easy имеет 12 входов, из них 4 аналоговых и 8 дискретных, 6 релейных выходов, 32 компаратора, 32 реле времени и т. д.

Перед Easy были поставлены следующие задачи: обработка сигнала, полученного с датчиков тока; вывод информации о состоянии испытуемого объекта (реле или выключателя) в виде светового индикации; защиту при коротком замыкании на клеммах или выводах прибора.

Программа для программируемого реле Easy содержит несколько функциональных блоков: блок переключения схем компараторов для различных испытуемых объектов; блок логики, включающий в себя группу компараторов; блок исполнительной части.

На рис. 3 показана блок-схема, которая запрограммирована в реле Easy.

Рассмотрим каждый блок по отдельности. В состав испытуемых (диагностируемых объектов) входят выключатели и ряд различных типов реле, у которых разные токи срабатывания и отпускания контактов. Поэтому для каждого выключателя и типа реле были приняты отдельные группы компараторов со своими уставками соответствующими номинальным токам срабатывания и отпускания контактов выключателей и реле. Для этого нам необходим блок переключения схем компараторов.



Рис. 3. Блок-схема диагностического комплекса, реализованная в Easy

Сигнал с датчиков тока, поступающий в Easy, сравнивается в группе с заданными в них постоянными значениями – константами, соответствующими номинальным параметрам коммутационной защитной аппаратуры. Каждая группа состоит из четырёх компараторов, в первой паре которых, константой является номинальное значение тока срабатывания и отпускания контакта реле, а во второй – аварийный сигнал, если ток превысит номинальное значение или реле не сработает. Переключение групп компараторов производится так, чтобы не произошло одновременного ошибочного срабатывания нескольких групп компараторов.

После того, как тот или иной компаратор сработает, его сигнал поступает в блок исполнительной части и включает светодиод, который соответствует нормальному или аварийному состоянию испытуемого (диагностируемого) объекта.

Комплекс позволяет осуществлять испытания различных типов аппаратов с отличающимися параметрами.

Выбор схемы, фиксация показаний амперметра, переключение режимов и регулировка уровня тока производится оператором с помощью устройств выведенных на лицевую панель.

Оператор всегда может принять решение о состоянии испытуемого аппарата, опираясь не только на световую индикацию и логику программируемого реле, но и на показания цифрового амперметра, отображающего ток от 0,001 А до 50,0 А.

Таким образом, исходя из проведенных исследований, был разработан испытательный комплекс, который позволяет проводить диагностику коммутационной защитной аппаратуры внутри локомотива без непосредственного демонтажа. Данный комплекс использует локомотивные аккумуляторные батареи в качестве источника питания и поэтому он является портативным испытательным комплексом.

Список литературы

1. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника. – М.: СОЛОН-Р. 2001, – 321 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИВОДНЫХ СИСТЕМ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ганиев Р.Н., Гаврилов Е.Н.

Научный руководитель: Горбачевский Н. И., к.т.н., доцент

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)
ГОУ ВПО Казанский государственный технологический университет,
423570, г. Нижнекамск, ул. Строителей, 47
n7007@mail.ru

Основную долю приводных двигателей оборудования шинных заводов составляли до 2000 г. двигатели постоянного тока. Они наиболее полно отвечали требованиям по диапазону регулирования скорости, имеют отличные регулировочные и механические характеристики. Однако, эксплуатация данных двигателей зачастую требует значительных трудозатрат ввиду частого выхода из строя. Это объясняется быстрым износом коллекторно-щеточного механизма в условиях агрессивной среды производственных помещений, где присутствует токопроводящая мелкодисперсная пыль; повышением энергоемкости, ввиду установки громоздкого коллекторно-щеточного механизма для машин большой мощности; кроме того, машина постоянного тока критична к изменению тока якоря, что ведет к искрению на коллекторе; сложностью подбора соответствующих электрических щеток с учетом их физико-механических характеристик.

Меньшую составляющую парка приводных двигателей шинных производств составляли асинхронные машины. Здесь проблемной стороной являются большие пусковые токи, приводящие к преждевременному износу статорной обмотки, особенно, в повторно-кратковременных режимах и в режимах частых пусков, проблемы с охлаждением при работе на низких оборотах, значительные потери в стали, и, как следствие, неоправданные энергетические затраты. В результате машина работает с заниженным КПД, неэффективно используется по мощности, имеет, как правило, повышенную температуру обмоток при работе на скоростях, меньших номинальной.

Выходом из сложившейся ситуации на сегодняшний день, как правило, является применение частотно-регулируемого электропривода (ЧРП), являющегося самым перспективным средством управления рабочим органом большинства машин. Применение ЧРП способствует обеспечению энергосбережения, снижению затрат на эксплуатацию, продлению срока службы системы. Однако, реконструкция эксплуатируемых систем электроприводов выдвигает особые требования при выборе новых двигателей. Задача выбора состоит в поиске такого двигателя, который обеспечивает заданный технологический цикл рабочей машины, соответствует условиям окружающей среды, компоновке с рабочей машиной и при этом имеет нормативный (допустимый) нагрев [1].

В качестве примера рассмотрим результаты предремонтных инструментальных испытаний [1], проведенных авторами совместно с УНИПТИМАШ на ОАО «Нижнекамскшина». В рамках проектирования и монтажа электроприводов агрегата для выпуска профилированных деталей ИРУ-16Б были проведены аналитико-расчетные и экспериментально-натурные исследования. В ходе работ был исследован ряд электроприводов агрегата, в том числе электропривод транспортера охлаждающего устройства. Определены следующие параметры реконструируемой системы.

Транспортер агрегата приводится двигателем постоянного тока ПБСТ43 мощностью 2 кВт и номинальной частотой вращения 1000 об/мин. Линия должна иметь регулирование скорости в диапазоне 4...16 м/с, длина транспортера l=14 м, транспортер имеет горизонтальный прямолинейный участок и два участка с изгибом, максимальная масса погонного метра транспортируемого материала m=8,3 кг. Качественный анализ нагрузочных характеристик транспортера и приводного двигателя проведен в следующем порядке: определение расчетной мощности, снятие экспериментальных данных, выводы и предложения.

В общем случае расчет необходимой мощности двигателя подобных конвейеров имеет сложный характер, требующий учета многих конструктивных данных. Но для практических расчетов с

достаточной точностью мощность приводного двигателя можно определить из выражения [2]:

$$P = \frac{k_з F \cdot V}{102 \cdot \eta}, \qquad (1)$$

где $\kappa_з$ – коэффициент запаса, учитывающий неточности расчета сил сопротивления, F – тяговая сила, V – скорость ленты, η – кпд конвейера и привода.

Сила сопротивления движению на прямолинейном участке определяется как сопротивлние движению по наклонной плоскости:

$$F_n = ql(C_n \cos\beta + \sin\beta),$$

где q – весовая нагрузка на 1 м пути Н/м, l – длина участка в м, β – угол наклона конвейера, C_n – коэффициент сопротивления на прямолинейном участке. В расчетах для ленточных и цепных конвейеров применяют $C_п$ в пределах 0,03 – 0,06 [3].

На участках изгиба сила сопротивления:

$$F_u = C_u T_н$$

где $C_и$ – результирующий коэффициент на участках изгиба, принимается (4…6) 10^{-2} [4], $T_н$ – сила натяжения в точке изгиба, Н, определяемая из [3].

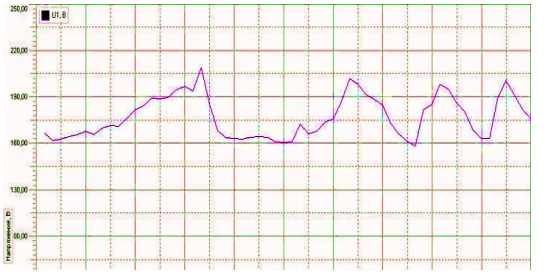
Результирующая сила сопротивления движению, которую должен преодолеть электропривод, определяется суммой сил:

$$F = F_n + 2F_u.$$

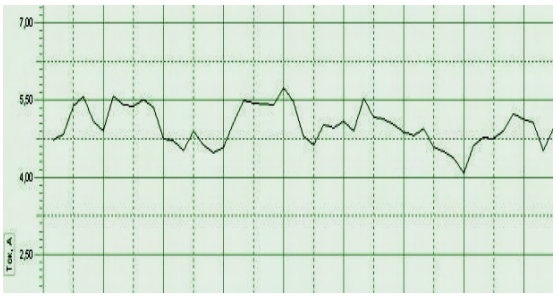
Тяговая сила по расчетам составила F=35,72 Н. Подставляя полученное значение F в (1), имеем P=1,04 кВт.

Исследования показали, что расчетная мощность значительно ниже мощности установленного двигателя. Это подтверждается диаграммами действующего напряжения и тока якоря приводного двигателя, полученных с помощью анализатора Е-440 и программного обеспечения ASTest в работе [1] (рис 1, а, б). Очевидно, что машина работает с мощностью, ниже номинальной, значение около 0,95 кВт при частоте вращения 680 об/мин. Заметим, что данные вычисления выполнены для скорости линии 16 м/с, но по технологическому регламенту некоторые материаы транспортируются при скорости 4,5 м/с, что соответствует скорости двигателя 24 об/мин. На данной скорости значительно ухудшается охлаждение обмоток электродвигателя, это подтверждают данные экспериментов [1], температура корпуса двигателя достигала 70 ˚С.

Альтернативой эксплуатируемому приводу послужил бы электропривод, выполненный по системе ПЧ-АД с обратной связью по скорости, в качестве приводной машины целесообразно принять электродвигатель для частотного регулирования АДЧР90L6 производства ВЭМЗ. Мощность данного двигателя составляет 1,1 кВт, номинальная частота вращения 935 об/мин. Это позволит оставить прежние редукторы транспортеров и кинематическую схему, не изменяя передаточных чисел узлов. Кроме того, при максимальной мощности, момент на валу двигателя примерно 13,2 Нм. Номинальный момент двигателя АДЧР90L6 составляет 15,3 Нм, что создает запас по моменту, двигатель будет более эффективно использоваться по мощности при номинальной частоте питающего напряжения 50 Гц. КПД такой системы теоретически должен быть также близким к номинальному значению, около 0,9, согласно известной зависимости η(Р). Проблема охлаждения на низких скоростях решена компанией ВЭМЗ при производстве – комплектованием машин «наездником».



а



б

Рис. 1. Характеристики приводного двигателя: а – напряжение якоря, б – ток якоря

Исходя из накопленного технического опыта эксплуатации, а также по многочисленным результатам исследований электроприводов можно сделать следующие выводы. На практике становится очевидным, что оборудование, использованное для комплектации технологических установок, зачастую не соответствует необходимым условиям эксплуатации [4]. В условиях возросших требований к экономичности электропривода, когда вопросы энергосбережения являются определяющими в выборе двигателя, при модернизации и реконструкции оборудования требуется системный подход, включающий предварительный анализ работы электрооборудования, расчетно-аналитические и экспериментальные исследования, на основании которых должно выбираться новое оборудование.

Список литературы

1. Проведение предремонтных инструментальных испытаний и регламентный контроль электроприводов поточной линии по выпуску протекторов ИРУ-16Б: отчет о НИР / Нижнекамский химико-технол. ин-т; Руководитель Н. И. Горбачевский. – Нижнекамск, 2009. – 142 с. – Отв. исполн. Р. Н. Ганиев, Е. В. Тумаева.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов. – М.: Академия, 2004. – 576 с.
3. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины .– М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
4. Энергосберегающие технологии в электроприводе/ Н.И. Горбачевский, К.Н. Сабаев // Вопросы теории и проектирования электрических машин: сборник научных трудов УлГТУ. – Ульяновск, 2009. – С. 65–68.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ ОДНОФАЗНОМ КОНДЕНСАТОРНОМ ПИТАНИИ

Гирник А.С.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: AndreySG@mail2000.ru

В данной работе исследуются режимы работы вспомогательных асинхронных двигателей электровозов при конденсаторной схеме питания от однофазной сети переменного тока. Исследуемый двигатель типа НВА-55, установленный на электровозе 2ЭС5К «Ермак». Схема питания группы вспомогательных машин данного электровоза представлена на рис. 1.

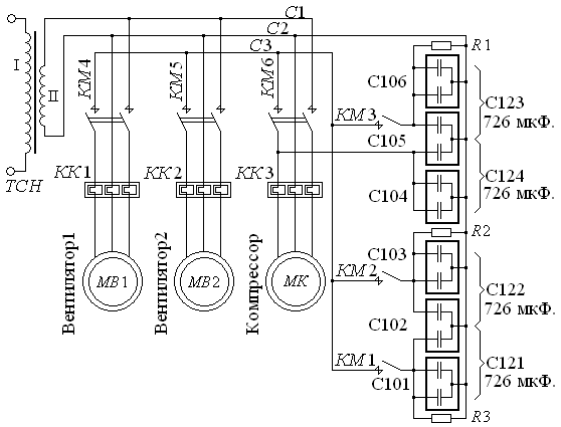


Рис. 1. Схема питания вспомогательных машин

Группа вспомогательных электрических машин (*МВ*1, *МВ*2, *МК*) получает питание от трансформатора собственных нужд «*ТСН*». Двигатели подключаются контакторами «*КМ*4», «*КМ*5» и «*КМ*6» к однофазной вторичной обмотке «*ТСН*». Контакторами «*КМ*1», «*КМ*2» и «*КМ*3» обеспечивается подключение конденсаторных батарей «*С*121», «*С*122» и «*С*123» к сборной шине «*С*3», идущей к одноимённым фазам всех трёх двигателей, и к сборной шине «*С*2», соединённой с одним выводом вторичной обмотки «*ТСН*». Конденсаторные батареи «*С*121», «*С*122», «*С*123» и «*С*124» собраны из сдвоенных конденсаторов «*С*101-*С*106». Резисторы «*R*1», «*R*2» и «*R*3» необходимы для снятия остаточного заряда с конденсаторов после их отключения. Тепловые реле «*КК*1», «*КК*2» и «*КК*3» необходимы для защиты двигателей от перегрузки по току.

Алгоритм работы двигателей следующий:

1. Запуск вентилятора «*МВ*1» при включенной пусковой ёмкости, образуемой конденсаторными батареями «С121», «С122» и «С123».
2. Переключение «*МВ*1» на длительный режим с рабочей ёмкостью «С121».
3. Запуск вентилятора «*МВ*2» совместно с работающим «*МВ*2» при включенной пусковой ёмкости, образуемой конденсаторными батареями «С122» и «С123».
4. Переключение «*МВ*2» на длительный режим с рабочей ёмкостью «С122».
5. Запуск и переход в длительный режим «*МК*» с рабочей ёмкостью «С124».

Исследование данных режимов проводилось с помощью математической модели двигателя, полученной на основе базовых соотношений [1]. Модель приведена ниже.

$$\dot{I}_{11} = \frac{\dot{U}\cdot\left[\dot{Z}_{12}\cdot(1-a^2)-\dot{Z}_C\right]}{\left[3\cdot\dot{Z}_{11}\cdot\dot{Z}_{12}-\dot{Z}_{Cp}\cdot(\dot{Z}_{11}+\dot{Z}_{12})\right]\cdot(a-a^2)};$$

$$\dot{I}_{12} = \frac{\dot{U}\cdot\left[\dot{Z}_{12}\cdot(1-a)-\dot{Z}_C\right]}{\left[-3\cdot\dot{Z}_{11}\cdot\dot{Z}_{12}+\dot{Z}_{Cp}\cdot(\dot{Z}_{11}+\dot{Z}_{12})\right]\cdot(a-a^2)};$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{11}+\dot{I}_{12};$$

$$\dot{I}_B = a\cdot\dot{I}_{11}+a^2\cdot\dot{I}_{12};$$

$$\dot{I}_C = a^2\cdot\dot{I}_{11}+a\cdot\dot{I}_{12};$$

$$\dot{U}_A = \dot{I}_{11}\cdot\dot{Z}_{11}+\dot{I}_{12}\cdot\dot{Z}_{12};$$

$$\dot{U}_B = a\cdot\dot{I}_{11}\cdot\dot{Z}_{11}+a^2\cdot\dot{I}_{12}\cdot\dot{Z}_{12};$$

$$\dot{U}_C = a^2\cdot\dot{I}_{11}\cdot\dot{Z}_{11}+a\cdot\dot{I}_{12}\cdot\dot{Z}_{12}$$

$$M = 3\left(\frac{I_{21}^2\cdot R_2'\cdot K_{r21}}{\Omega_c\cdot s_1}-\frac{I_{22}^2\cdot R_2'\cdot K_{r22}}{\Omega_c\cdot s_2}\right).$$

где, $\dot{U}$ – комплексное напряжение питания однофазной сети, В; $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$ и $\dot{U}_C$ – комплексные фазные напряжения, В; $\dot{I}_{11}$ и $\dot{I}_{12}$ – комплексные токи статора прямой и обратной последовательностей, А; $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$ – комплексные фазные токи статора, А; $a = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$ – оператор поворота вектора на 120°; $\dot{Z}_{11}$ и $\dot{Z}_{12}$ – комплексные сопротивления статора прямой и обратной последовательностей, Ом; $\dot{Z}_{21}$ и $\dot{Z}_{22}$ – комплексные сопротивления ротора прямой и обратной последовательностей, Ом; $\dot{Z}_{Cp}$ – комплексное значение ёмкостного сопротивления конденсаторной батареи, Ом; R' – приведённое сопротивление ротора, Ом; s – скольжение, о.е.; M – вращающий момент, Н·м; Ω_c – синхронная частота вращения поля статора, рад/с.; Kr_{21} и Kr_{22} – коэффициенты увеличения сопротивления ротора под влиянием эффекта вытеснения тока от полей прямой и обратной последовательностей.

Напряжение однофазного питания было принято минимально возможным 280 В на борту электровоза с целью исследования пускового момента двигателя и максимально возможным 470 В с целью исследования перенапряжений, возникающих при пуске машины. Минимальное значение пускового момента двигателя НВА-55 при питании от однофазной сети 280 В и при пусковой ёмкости 2178 мкФ должно быть 130 Н·м в соответствии с ТУ [2]. Линейное допустимое максимальное напряжение для используемой в двигателе изоляции может быть до 660 В в соответствии с ТУ [2].

На рис. 2. приведена диаграмма линейных напряжений при одиночном пуске двигателя.

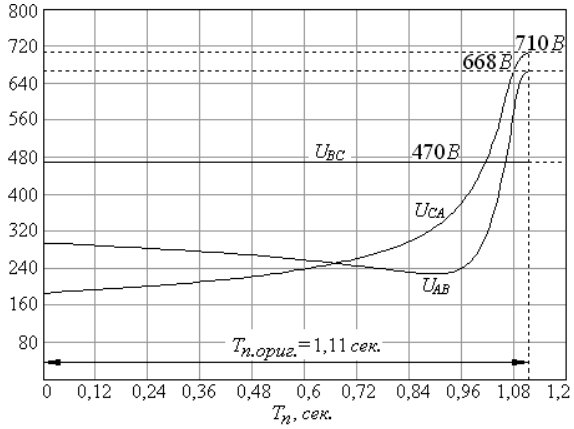


Рис. 2. Диаграмма линейных напряжений двигателя при пуске

По рис. 2. видно, что в промежутке времени, когда двигатель запускается ещё на ёмкости 2178 мкФ, напряжение между фазами может достигать 710 В, что превышает допустимое для изоляции двигателя значения 660 В. По рис. 3. видно также возникновение перенапряжений при пуске двигателя одновременно при работающей соседней асинхронной машине в длительном режиме. Величина перенапряжений может достигать 980 В. При многократном пуске вспомогательных машин данные перенапряжения могут привести к ускоренному старению изоляции обмотки статора, и следовательно, к быстрому выходу двигателей из строя. Кроме того, пусковой момент двигателя НВА-55 при пусковой ёмкости 2178 мкФ составлял 107 Н·м, чего не достаточно, так как минимальное требуемое значение 130 Н·м.

На рис. 3. приведена диаграмма линейных напряжений работающего двигателя в длительном режиме при пуске соседней асинхронной машине.

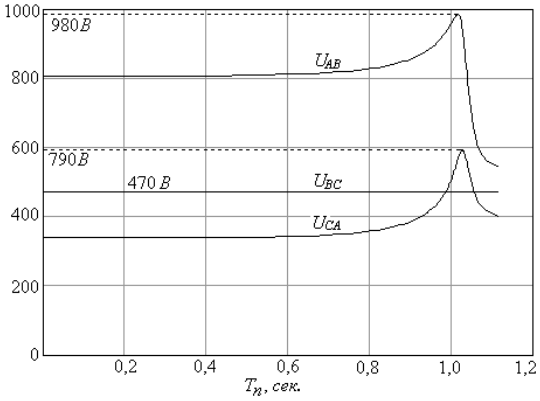


Рис. 3. Диаграмма линейных напряжений двигателя при пуске одновременно с работающей соседней машиной

Выводы

1. Для предотвращения старения изоляции под влиянием электрических перенапряжений необходимо применить в данной машине утолщённую изоляцию.

2. Для обеспечения необходимого пускового момента двигателя рационально использовать в пусковом режиме конденсаторные батареи с большей ёмкостью.

Список литературы

1. Лопухина Е.М., Сомихина Г.С. Расчет асинхронных электродвигателей однофазного и трехфазного тока. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 312 с.
2. Технические условия. Электродвигатели асинхронные типа НВА. ОАО НПО «НЭВЗ», ОАО «ВЭлНИИ», 1999. – 28 с.

АЛГОРИТМ ГРАДИЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Глотов А.А.

Научный руководитель: Завьялов В.М., к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: glotov.artem@yandex.ru

Одним из перспективных электроприводов в настоящее время является привод на основе управляемого синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ).

Это объясняется целым рядом конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ СДПМ по сравнению с другими существующими типами электрических машин, к числу которых можно отнести следующие:

• бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания;

• большая перегрузочная способность по моменту;

• высокое быстродействие в переходных процессах по моменту;

• хорошие энергетические показатели;

• минимальные массогабаритные показатели при прочих равных условиях.

Постоянное удешевление магнитных материалов, а также ускоряющееся развитие аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применение СДПМ в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели [1].

Для построения систем управления электромагнитным моментом таких электроприводов возможно использование алгоритма градиентного управления [2].

Общий алгоритм градиентного управления, полученный на базе математической модели обобщенной электрической машины в системе координат *u–v*, вращающейся с произвольной скоростью, имеет вид [2]:

$$\dot{\mathbf{u}} = -\mathbf{r}, \qquad (1)$$

где **u** – вектор управляющего воздействия; **r** – вектор-функция переменных состояния;

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_{1u} \\ u_{1v} \\ u_{2u} \\ u_{2v} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} -h_1\psi_{2v}\Delta_M + h_2\psi_{1u}\Delta_{\psi 1} \\ h_1\psi_{2u}\Delta_M + h_2\psi_{1v}\Delta_{\psi 1} \\ h_1\psi_{1v}\Delta_M + h_3\psi_{2u}\Delta_{\psi 2} \\ -h_1\psi_{1u}\Delta_M + h_3\psi_{2v}\Delta_{\psi 2} \end{bmatrix};$$

$$\Delta_M = M - M^*;\ \Delta_{\psi 1} = \psi_1^2 - \left(\psi_1^2\right)^*;$$

индексом x^* отмечены заданные величины; M – электромагнитный момент; ψ_1 и ψ_2 – амплитуды векторов потокосцепления статора и ротора соответственно; h_1, h_2, h_3 – настроечные коэффициенты.

Рассмотрим применение данного алгоритма к СДПМ. Для этого осуществим переход от уравнений обобщенной электрической машины к их частным решениям для СДПМ.

Математическая модель СДПМ в системе координат *d–q*, жестко связанной с положением ротора двигателя, при условии, что ось *d* расположена вдоль полюса, имеет вид [3]:

$$\left.\begin{aligned} \begin{bmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} R + pL_d & -P_n\omega_r L_q \\ P_n\omega_r L_d & R + pL_q \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ P_n\omega_r\psi_m \end{bmatrix} \\ M &= \frac{3P_n}{2}\left(\psi_m i_{1d} + (L_d - L_q) i_{1d} i_{1q}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где R – активное сопротивление статора, L_d,L_q – индуктивность статора по осям d и q, P_n – число полюсов двигателя, $\omega_к$ – скорость вращения ротора, p – оператор Лапласа, $\psi_в$ – потокосцепление ротора.

Поскольку ротор машины выполнен из постоянных магнитов и не имеет электрических обмоток, вектор управляющих воздействий будет включать в себя только составляющие вектора напряжения, подводимого к обмоткам статора. Составляющая потокосцепления ротора ψ_{2d} равняется потокосцеплению постоянных магнитов ψ_m, а ψ_{2q}=0. В результате этого матрицы вектора управляющего воздействия и переменных состояний примут вид:

$$u = \begin{bmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \end{bmatrix}\ r = \begin{bmatrix} h_1\psi_{1d}\Delta\psi_1 \\ h_1\psi_в\Delta\psi_M + h_2\psi_{1q}\Delta\psi_1 \end{bmatrix}$$

Для реализации управления необходимо знать потокосцепления ψ_{1d} и ψ_{1q}, которые могут быть найдены из токов. Пренебрегая потоком рассеяния ротора, зависимость между потокосцеплениями и токами статора имеют вид:

$$\psi_{1d} = i_{1d}L_d + \psi_m$$
$$\psi_{1q} = i_{1q}L_q$$

В результате для управления электромагнитным моментом и потокосцеплением статора будем использовать нелинейный интегральный регулятор, реализующий зависимости:

$$\left.\begin{aligned} u_{1d} &= -\int h_2\psi_{1d}\Delta_{\psi 1}dt \\ u_{1q} &= -\int\left(h_1\psi_m\Delta_M + h_2\psi_{1q}\Delta_{\psi 1}\right)dt \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Исследование алгоритма управления (3) производилось путем компьютерного моделирования на основе модели двигателя (2). При моделировании использовались параметры двигателя мощностью 750 Вт, величины которых приведены в табл. 1. Настроечные параметры регулятора были приняты: h_1=1500; h_2=300, при времени дискретизации численного интегрирования T_d=1·10^{-5} с.

Таблица 1

Параметры двигателя

Мощность P, Вт	750
Напряжение статора, В	208
Число полюсов Рп	2
Индуктивность обмотки статора по оси d Ld, мГн	42,44
Индуктивность обмотки статора по оси q Lq, мГн	79,57
Сопротивление обмотки статора R, Ом	1,93
Момент инерции J, кгм^2	0,003
Потокосцепление ротора ψ_m, Вб	0,311

Результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 1–3. Как видно из полученных графиков, время переходного процесса как по управлению, так и по возмущению составляет порядка 0.2 с.

Можно также отметить, что в переходном процессе изменения задания по одному каналу управления оказывает влияние на соседний канал (например, изменение задания момента влечет изменение потокосцепления статора).

Также можно отметить, что в результате изменения нагрузки появляется статическая ошибка регулирования как по моменту, так и по потокосцеплению.

Проведенные исследования показали, что уменьшить время переходного процесса и снизить статическую ошибку регулирования возможно путем увеличения величины настроечных коэф-

фициентов h_1, h_2, однако при этом переходные процессы становятся колебательными с большим перерегулированием.

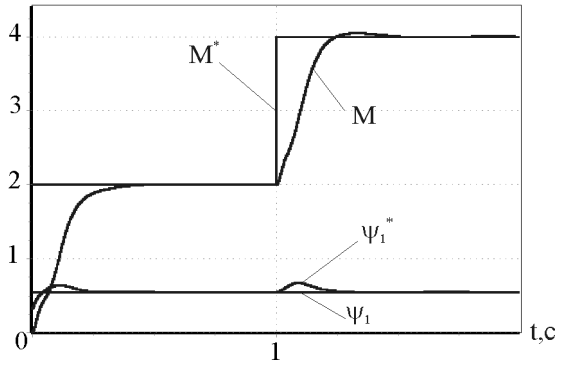


Рис. 1. Переходные процессы при изменении задания электромагнитного момента

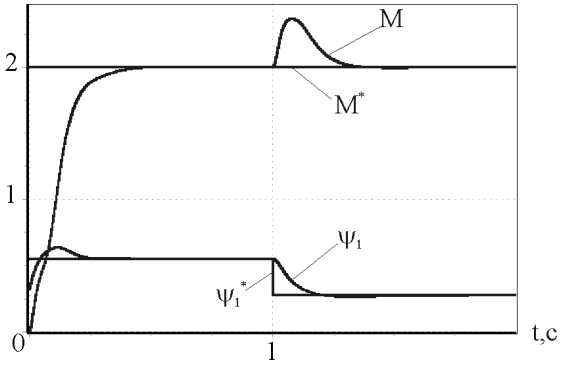


Рис. 2. Переходные процессы при изменении задания вектора потокосцепления статора

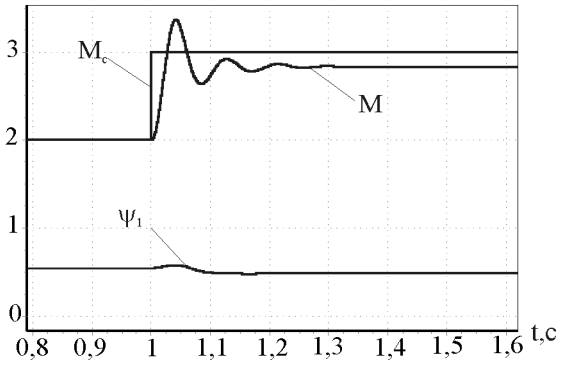


Рис. 3. Переходные процессы при изменении задания момента сопротивления

Таким образом, дальнейшие исследования СДПМ с градиентным управлением, направленные на улучшение динамических характеристик, заключаются в разработке алгоритмов адаптации, воздействующих на величину настроечных коэффициентов в зависимости от ошибки регулирования.

Список литературы

1. Вентильный электропривод: шанс для российских производителей // Оборудование: рынок, предложение, цены. – 2004. – №1.
2. 2. Семыкина, И. Ю., Завьлов В. М. Градиентное управление процессом электромеханического преобразования энергии // Материалы IV междунарадной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии». – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 203–206.
3. 3. Mahinda Vilathgamuwa, M. Azizur Rahman, K.J. Tseng, Nonlinear Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor // Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE, vol.2, 2000. – P. 1115–1120.

МНОГОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Глухов Д.М., Ефанов А.М.

Научный руководитель: Глухов Д.М., к.т.н.

Рамонский РЭС, ПО Северные электрические сети, ф-ла ОАО ««МРСК-Центр»» Воронежэнерго», Россия, г. Воронеж
E-mail: mitbor@rambler.ru

В ноябре прошлого года Президент Российской Федерации Д.А. Медведев подписал Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», регулирующий отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [1]. Озвучивание проблемы высшим должностным лицом государства свидетельствует о крайне высокой степени актуальности вопросов энергосбережения на сегодняшний день.

Советская государственная политика заниженных цен на энергоресурсы, когда в коммунальную сферу ресурсы отдавались в 3 раза ниже себестоимости, обусловила низкую эффективность энергоиспользования. В настоящее время ситуация кардинально изменилась.

Вопросы энергосбережения крайне актуальны для сферы жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) в любом регионе страны, а в энергодефицитном особенно. В частности, для установок с постоянным, но неравномерным режимом работы, таких как канализационно-насосные станции

(КНС), водонасосные станции, компрессорные установки и т. п. при использовании в них нерегулируемых электроприводов (ЭП) неэффективный расход электроэнергии может быть настолько велик, что достижение реальной прибыли в этой сфере становится весьма затруднительным.

Целью работы является определение экономической целесообразности применения многофазных асинхронных электроприводов в сфере жилищно-коммунального хозяйства с точки зрения комплексно-инновационного подхода к проблемам энергосбережения и надёжности.

Одним из элементов системы ЭП является электродвигатель. Как правило, в системе ЖКХ применяются трёхфазные асинхронные двигатели. Предлагаемые к использованию многофазные асинхронные двигатели (МАД) с расщеплёнными обмотками статора (с числом фаз m кратным и более 3) достаточно просто произвести на мощностях практически любого профильного предприятия. Например, в Томске – ООО СЭТК, ОАО СКБ «Сибэлектромотор». При этом число фаз статорной обмотки авторы предлагают ограничить в пределах m=6 или 9, в зависимости от мощности двигателя и числа пазов статора [2]. Внешне МАД будет отличаться от трёхфазного двигателя только клеммной колодкой. При этом стоимость двигателя при изготовлении небольшими партиями возрастает незначительно из-за большой доли ручного труда в производстве.

Следующим, вероятно, ключевым элементом системы ЭП является преобразователь частоты (ПЧ), управляющий двигателем. В настоящее время при модернизации объектов сферы ЖКК, для управления асинхронными двигателями объектов, как правило, используются импортные трёхфазные ПЧ. При этом себестоимость такой модернизации не может быть низкой по определению.

Одним из способов снижения стоимости ЭП является применение недорогих и качественных ПЧ, которые можно получить упростив саму схему преобразователя (оставив в нём только те функции, которые действительно необходимы для управления насосами и вентиляторами, избавиться от лишних элементов и функций), его программную составляющую и переместив производство непосредственно в регион, где проводится модернизация сферы ЖКХ.

Упрощённо, многофазный ПЧ состоит из следующих основных частей: выпрямитель, фильтр и инвертор, состоящий, в свою очередь, из силовых IPM-модулей (число IPM-модулей равно числу 3-фазных обмоток статора) с драйверами, управляемыми PIC-контроллером.

Для приведённых выше установок объектов сферы ЖКХ требуется лишь обеспечение поддержания постоянных напоров/расходов в системах в соответствии с графиком нагрузок, т. е. простейшая обратная связь, обеспечиваемая соответствующими датчиками. Следовательно, в таких случаях отсутствует необходимость в применении новейших, а значит, и более дорогих импортных ПЧ, интеллектуальная составляющая труда в себестоимости которых достаточно велика. В производстве дешёвого ПЧ достаточно всего лишь использовать качественные отечественные и импортные комплектующие.

Применение простейшего многофазного ПЧ с прямоугольными управляющими сигналами позволяет получить удовлетворительную плавность вращения рабочего органа механизма, благодаря конструкции МАД.

Анализ текущей ситуации на рынке трёхфазных импортных ПЧ насосных либо вентиляторных серий показал, что стоимость 1кВт мощности преобразователя находится в пределах от 65,6$ до 136,7$ в зависимости от производителя и номинальной мощности двигателя, которым предполагается управлять. Опытное производство многофазного ПЧ для МАД с номинальной мощностью $P_{2н}\approx$30 кВт потребует от 32$ до 43,2$ за 1 кВт мощности в зависимости от числа фаз m МАД. Меньшие значения соответствуют 6-фазной машине, а большие – 9-фазной.

Замена трёхфазных асинхронных двигателей многофазными позволит также повысить надёжность установок, что особенно актуально для системы жизнеобеспечения города – функционирование КНС не менее важно бесперебойной подачи воды в дома горожан. Учитывая то, что использование регулируемого ЭП в насосных, вентиляционных или компрессорных системах позволяет существенно сгладить пульсации давления рабочих сред вкупе с оптимизацией энергопотребления, применение многофазных ЭП радикально повышает надёжность системы.

Проведённые исследования показали, что при любых принятых значениях вероятности безотказной работы (ВБР) силовой части ПЧ многофазные электроприводы будут обладать более высокой надёжностью, по сравнению с трёхфазными ЭП [3].

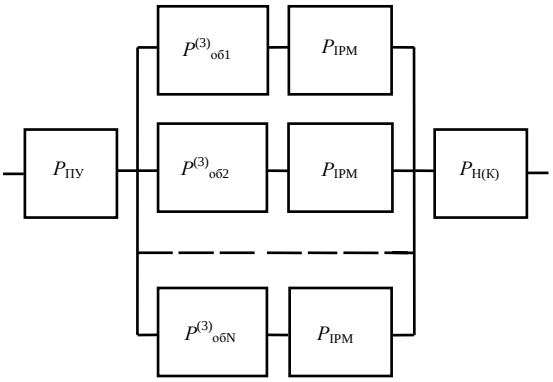


Рис. 1 Структурная схема надёжности m-фазного асинхронного электропривода для компрессорных/насосных установок сферы жилищно-коммунального хозяйства

Математическая модель надёжности, соответствующая структурной схеме надёжности, представленной на рис. 1, имеет вид:

$$P_{РЭП}^{(m)} = P_{ПУ} * \left(1 - \left(1 - P_{об}^{(3)} * P_{IPM}\right)^{N}\right) * P_{H(K)}$$

где $P^{(m)}{}_{РЭП}$ – ВБР m-фазного асинхронного электропривода при числе трёхфазных групп равном N; N – число расщепленных трёхфазных групп обмотки статора МАД; $P_{ПУ}$ – ВБР подшипникового узла АД; $P^{(m/3)}{}_{об}$ – ВБР обмотки статора трёхфазного АД; P_{IPM} – ВБР трёхфазного силового IPM модуля; $P_{H/K}$ – ВБР насосного/компрессорного агрегата.

Конкретные цифры вероятности безотказной работы системы «Многофазный ЭП – насосный агрегат» будут зависеть от технологической схемы насосной либо компрессорной станции. Выполненные авторами расчёты показали, что различные схемы включения насосов обеспечивают различные уровни надёжности систем.

Выводы

1. Эффективное энергосбережение в сфере коммунального хозяйства возможно только при наличии большого количества простых по конструкции и недорогих в производстве электроприводов.

2. Электроприводы на базе многофазных асинхронных двигателей могут составить конкуренцию традиционным трёхфазным при условии упрощения их схемотехники и изготовления преобразователя частоты в России.

3. Современная элементная база позволяет достигать высоких значений вероятности безотказной работы многофазных электроприводов, что позволит получить принципиальную работоспособность объектов жилищно-коммунальной сферы в критических ситуациях.

Список литературы

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской федерации.
2. Глухов Д.М. Моделирование многофазных асинхронных двигателей в аварийных режимах работы: автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.09.01/Том. политехн. ун-т, 18с. Томск, 2005.
3. Ведяшкин М.В., Глухов Д.М., Муравлёва О.О. Математическое моделирование надёжности многофазного асинхронного электропривода // Известия вузов. Электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 22–25.

РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Гогатишвили Е.Ю.

Научный руководитель: Богданов Е.П. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kati_@sibmail.com

В настоящее время в силовой преобразовательной технике широко используют мощные полупроводниковые приборы – тиристоры. При незначительных внутренних потерях они позволяют управлять большими мощностями. Это открывает широкие возможности для преобразования напряжения стандартной промышленной частоты в напряжение другой (чаще регулируемой) частоты. Применение частоты питания, отличной от промышленной, позволяет более эффективно использовать электроэнергию, обеспечить оптимальные режимы многих потребителей и интенсификацию технологических процессов.

Разработка и внедрение в промышленность тиристоров вызвали бурное развитие статических тиристорных преобразователей частоты (ПЧ). Это относится как к их схемам, так и методам их построения. В настоящее время развитие таких ПЧ идет как на основе уже известных схем, построенных ранее на ионных вентилях, так и по пути создания принципиально новых схем, разработка которых стала возможной благодаря применению тиристоров. Работа тиристорных преобразователей основана на коммутации вентилей, суть которой заключается в переводе тока нагрузки с одной ветви на другую, с одного вентиля на другой. При естественной коммутации это осуществляется за счет естественного изменения фазных напряжений и токов в схеме. При искусственной коммутации (ИК) для такого перехода используются специально формируемые в схеме импульсы напряжения и тока. Искусственная коммутация применялась и раньше в схемах на ионных вентилях. Однако ИК стала эффективной благодаря применению тиристоров, обладающих относительно малыми временами включения и выключения. Обеспечение безотказной работы систем пуска, регулирования и защиты частотно-регулируемых тиристорных источников питания за все время эксплуатации достигается за счет: • правильного выбора схемных решений систем;

• обеспечения расчетных параметров и режимов работы схем;

• использования в системах заранее исправных элементов;

• соблюдение условий эксплуатации.

Надежный плавный пуск тиристорных источников питания, выполненных на базе схем резонансных последовательных инверторов с встречно-параллельными диодами, обеспечивается путем подачи напряжения на управляющий электрод проходного тиристора и импульсов на управляющие электроды тиристоров инвертора после достижения напряжения на конденсаторе конденсаторного выключателя заданного значения. Заданное значение напряжения – это такое напряжение, при котором конденсаторный выключатель сможет в случае аварийной ситуации выключить проходной тиристор.

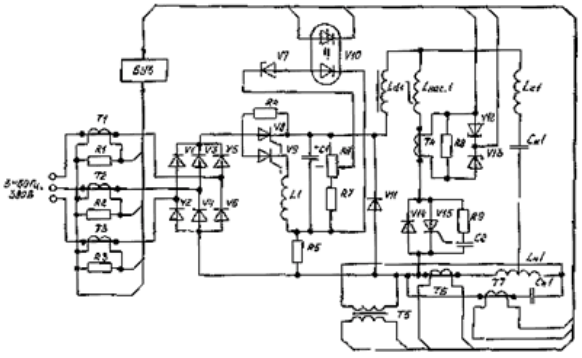


Рис. 1 Электрическая принципиальная схема тиристорного источника питания с системой пуска, датчиками защиты и управления

При подаче на вход тиристорного источника питания сетевого напряжения 3~50Гц, 380В происходит заряд конденсатора С1 конденсаторного выключателя по цепи: выпрямитель V1...V6, резистор R4, конденсатор С1, резистор R5, выпрямитель V1...V6. Как только напряжение на конденсаторе С1 достигнет заданного значения (350...400 В), включается стабилитрон V7 запуская оптрон V10, который и выдает команду на включение блока управления и защиты (БУЗ). БУЗ, включаясь подает управляющее напряжение на проходной тиристор V8 и импульсы управления на тиристор инвертора V15, запуская тиристорный источник питания. Если при этом возникает аварийная ситуация, срабатывает канал защиты, снимая управляющее напряжение с проходного тиристора V8 и одновременно, включая защитный тиристор V9, который создает цепь разряда конденсатора С1 – С1, V8, V9, L1, С1, выключая проходной тиристор V8, отделяя тем самым источник питания от места аварии.

Если же конденсатор С1, вследствие пробоя тиристора инвертора, коммутирующего конденсатора или цепей инвертора на землю, окажется к моменту пуска инвертора незаряженным, то стабилитрон V7 не включится и инвертор не запустится. Таким образом, контролируя напряжение на конденсаторе конденсаторного выключателя, удается повысить надежность работы защиты при пуске.

Схема защиты должна обеспечивать:

• Максимальное быстродействие, позволяющее ограничить амплитуду и длительность протекания аварийных токов.

• Ограничение всех видов внешних и внутренних перенапряжений до допустимого уровня.

• Селективность и надежность в работе.

• Возможность применения автоматического повторного включения или же включение резерва после срабатывания защиты.

В тиристорных источниках питания используются:

• Канал максимальной токовой защиты.

• Канал защиты от срывов инвертирования.

• Канал защиты от превышения допустимой температуры элементов.

• Канал защиты от прекращения подачи охлаждающей воды.

Принципиальная электрическая схема одного такого канала приведена на рис. 2.

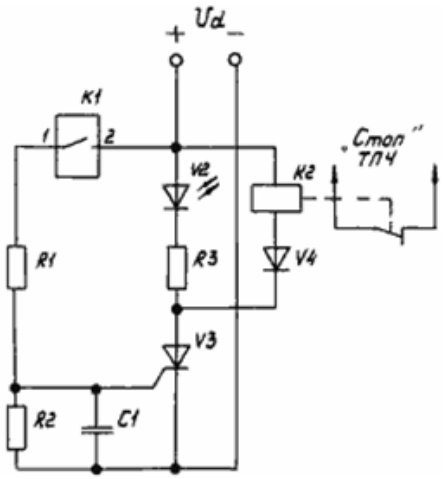


Рис. 2 Электрическая принципиальная схема канала защиты от прекращения подачи охлаждающей воды

Канал представляет собой тиристорный ключ V3, включаемый ртутным термоконтактором К1, расположенным на соответствующих ветвях охлаждения элементов тиристорного источника питания. При перегреве любой ветви охлаждения включается тиристор V3. В цепи анодов тиристоров V3 каждого канала включены светодиоды V2, сигнализирующие о срабатывании соответствующего канала температурной защиты, а реле К2 отключает тиристорный источник питания.

Канал защиты от прекращения подачи охлаждающей воды представляет собой датчик-реле давления, контакты которого заведены в цепь подачи сетевого напряжения на выпрямитель тиристорного источника питания. Таким образом, обеспечение надежности работы защиты тиристорных источников питания достигается, кроме перечисленных факторов, использованием нескольких каналов защиты. Для регулирования и стабилизации выходного напряжения инвертора, получения максимальной мощности в нагрузке в тиристорных источниках питания используется частотное регулирование. Частотное регулирова-

ние основано на резонансном характере нагрузочного контура. Если регулирование инвертированной частоты вести таким образом, чтобы она при всех изменениях параметров нагрузочного контура (активного сопротивления к индуктивности) была равна переменной резонансной частоте нагрузочного контура, то эквивалентное реактивное сопротивление будет оставаться чисто активным, изменяясь при этом по величине в соответствии с изменением параметров активного сопротивления и индуктивности нагрузочного контура, что определяет получение максимальной активной мощности при наивысшем КПД.

При частоте ниже резонансной эквивалентное реактивное сопротивление нагрузочного контура имеет индуктивный характер и ведет себя аналогично тому, как если бы в цепь нагрузки инвертора была включена дополнительная индуктивность. При частоте выше резонансной эквивалентное реактивное сопротивление нагрузочного контура имеет емкостной характер и ведет себя так же, как если бы в цепь нагрузки инвертора была включена последовательно дополнительная емкость.

Таким образом, номинальный режим, при котором частота инвертирования равна резонансной частоте нагрузочного контура, характеризуется нулевым фазовым углом нагрузочного контура и данный параметр может быть использован при построении устройств автоматического регулирования и поддержания максимальной мощности.

Список литературы

1. Лукутин Б.В. Силовые преобразователи электроэнергии: учебное пособие. – Томск. – 1997. – 84 с.
2. Сипайлов Г.А. Проблемы создания и применения специальных электромеханических преобразователей / Сипайлов Г.А. // Современные техника и технологии: труды VI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 28 февраля – 3 марта 2000 года, Томск / М-во образования РФ; ТПУ. – Томск, 2000. – С. 6–9. – Библиогр.: 3 назв.

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛДТ-615

Голосуцкий Д.С.

Научный руководитель: Богданов Е.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Широкое использование автоматических систем управления и регулирования в технике привело к повышенному спросу на информационно-измерительные функциональные преобразователи угловых и линейных перемещений, которые в значительной мере определяют основные технические показатели этих систем и, прежде всего, точность и быстродействие. Эти преобразователи – датчики.

Под датчиком подразумевается элемент, преобразующий контролируемую величину одного вида в величину другого вида, более удобную для воздействия на оперативный орган системы автоматического управления. В электрическом датчике изменение контролируемого (часто неэлектрического) параметра на входе вызывает определенное изменение выходного электрического параметра, что приводит к изменению (коммутации) тока или ЭДС в электрической цепи на выходе датчика. Поэтому датчики принято относить к электрическим аппаратам [1].

Датчики подразделяются на две большие группы:

1. Пассивные, или параметрические.
2. Активные, или генераторные.

К первой группе относятся датчики, которые не в состоянии самостоятельно создавать на выходе электрический сигнал, для их работы необходим источник питания, я датчик под действием контролируемой величины лишь меняет свои внутренние параметры, что в конечном итоге и вызывает изменение выходного сигнала. Активные датчики не нуждаются в постороннем источнике питания, они сами под воздействием измеряемой величины генерируют электрический сигнал, как правило, виде ЭДС.

Объектом исследования является датчик ДЛДТ-615, являющийся дифференциальным датчиком трансформаторного типа, свойства которого принято оценивать с помощью нескольких характеристик:

1. Степень соответствия реальной и расчетной функции преобразования, которую можно характеризовать отношением нелинейности γ_i к коэффициенту усиления Ki. Для линейных датчиков высокой точности нелинейность γ_i выходной характеристики не должна превышать 0,1–0,2%.

2. Фазовый сдвиг выходного напряжения относительно напряжения возбуждения и изменение сдвига фазы при перемещении подвижной части датчика линейных перемещений (ДЛП).

3. Чувствительность ДЛП. При фиксированном напряжении возбуждения определяется как тангенс угла наклона выходной характеристики.

Основные характеристики и параметры, отображающие технические возможности индукционного преобразователя линейных перемещений можно подразделить на 5 категорий [4]:

• параметры, характеризующие внешнее конструкторское исполнение;

• функциональные характеристики и параметры;

• электрические параметры;

• характеристики и параметры, определяющие стойкость к воздействию механических, климатических и специальных факторов;

• показатели надежности, долговечности и сохранности.

В последние годы требования к уровню характеристик и параметров всех категорий возросли. Минимальные габаритные размеры, масса, высокая точность преобразователя перемещений в электрический сигнал в условиях эксплуатации, малые значения нелинейности характеристик выходного напряжения и потребляемого тока, устойчивость к вибрации и большим температурам, длительные сроки хранения (15–18 лет).

Важнейшей характеристикой ДЛП является зависимость выходного параметра от входной величины напряжения [2]. Как показала практика, отношения входного напряжения и выходного не дает четкой линейности и точности датчика. Уже как несколько лет выходная характеристика является отношением разницы входного и выходного напряжения к их сумме.

$$Y = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} \qquad (1)$$

Датчик ДЛДТ-615 используется в авиационной технике. Датчик представляет собой двухканальный (на случай если одна из катушек откажет в работе) линейный дифференциальный трансформатор с воздушным ярмом. Электрическая схема показана на рис. 1. Датчик состоит (рис. 2) из 1 – корпуса; 2 – магнитопровода; 3 – катушки; 4 – подвижная часть датчика; 5 – вилка соединителя.

Корпус представляет собой полый цилиндр с толщиной стенки 1мм из стали (нержавейка). Для снижения потребляемой датчиком мощности и уменьшения влияния на его параметры внешних магнитных полей, внутри корпуса помещён внешний магнитопровода из ферромагнитного материала 79НМ толщиной 0.35 м. Катушка состоит из каркаса, выполненного из фенопласта, на котором размещены первичная обмотка 0В (обмотка возбуждения) и две секции вторичной обмотки Р01 и Р02 (секции рабочей обмотки).

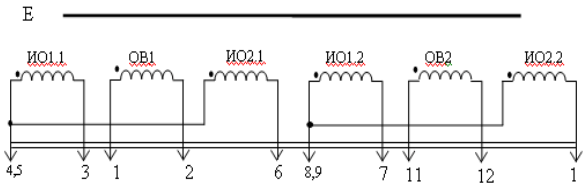


Рис. 1. Эектрическая схема: 1 – бмотка возбуждения первого канала; ОВ2 – бмотка возбуждения второго канала; ИО1.1, ИО2.1 – змерительные обмотки первого канала; ИО1.2, ИО2.2 –измерительные обмотки второго канала; Е – одвижная часть

С целью дальнейшей модернизации датчика планируется:

1. В связи с вероятной несоостностью штока, необходимо изменить его конструкцию, на состоящую из 2 элементов, а не 3, как на данном этапе. После чего планируется провести ряд экспериментов, доказывающих правомерность этого решения.

2. В ходе модернизации предполагается универсализация прибора, подтвержденная патентными предложениями.

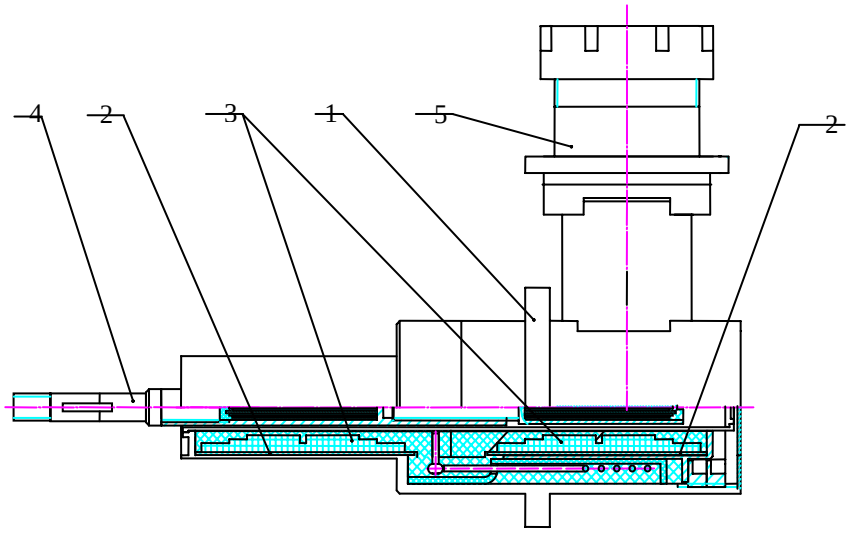


Рис. 2 Общий вид датчика

Список литературы

1. Буль Б.К. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1970.
2. Витенсберг М.И. Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1961.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985.
4. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. – Л.: Энергоиздат, 1981.

ПРИНЦИП СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гусев В.В.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Научный консультант: Шевчук В.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Chief_chef@rambler.ru

Переориентация производства горнодобывающих предприятий на бизнес-деятельность в условиях конкуренции и увеличение значимости ресурсов для собственников предприятий требуют принципиально нового подхода к обеспечению надежности, эффективности и безопасности эксплуатации горных машин. В данном аспекте действующие системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) электрических машин (ЭМ), являющихся основным элементом электропривода механизмов горных машин, становятся одним из критических факторов в обеспечении производительной и экономичной работы горного оборудования. Поэтому совершенствование системы организации ТОиР ЭМ представляет, безусловно, актуальную проблему, требующую решения в настоящее время.

Целью работы является определение принципа совершенствования системы технического обслуживания и ремонта электрических машин и проведение статистической оценки межремонтного периода применительно к конкретным электрическим машинам задействованных в системе технологической добычи алмазоносного сырья.

Этап эксплуатации ЭМ является одной из важнейших стадий их существования и, следовательно, от организации обслуживания на этом этапе, в частности от периодичности проведения ТОиР, во многом зависит эффективность использования ЭМ. Однако из-за применения в современных установках сложных гидравлических, механических и электрических систем управления в последние годы все труднее обеспечить необходимый уровень эксплуатационной надежности без установления эффективной системы ТОиР. Сложность функционирования по назначению, случайность действия климатических, режимных и некоторые другие факторы требуют разработки основных характеристик системы ТОиР с применением вероятностно-статистических методов исследования. В соответствии с этой точкой зрения для сохранения и обеспечения надежности необходимо обоснованное определение периодичности проведения ТОиР, адаптированного к условиям эксплуатации.

Установлено, что методы определения периодов ТОиР ЭМ в основном сводятся к минимизации эксплуатационных потерь, выраженных суммарными или удельными затратами, связанными с эксплуатацией объекта, и к вероятностно-оптимизационным моделям, характеризующим техническое состояние объекта. Если же исходить из последствий и критичности отказов, а также свойств и особенностей симметричных и асимметричных законов распределения, определение межремонтного периода $T_{МП}$ является тогда некорректным, и на этот счет рекомендации по определению периода технического обслуживания практически отсутствуют.

Обработка статистической информации о надежности узлов горнопроходческого комбайна АМ-75 и шахтных вентиляторов местного проветривания показала, что математические модели распределения времени ЭМ до отказа, выраженные в виде плотности вероятности распределения и интенсивности отказов, имеют характерную точку перелома с последующим резким возрастанием интенсивности отказа λ(t) (рис. 1). Объясняется это особенностью условий эксплуатации этих узлов и наличием случайного резкопеременного циклического режима нагружения с определенным рассеиванием и, следовательно, подчиняющихся тому или иному закону распределения случайных величин.

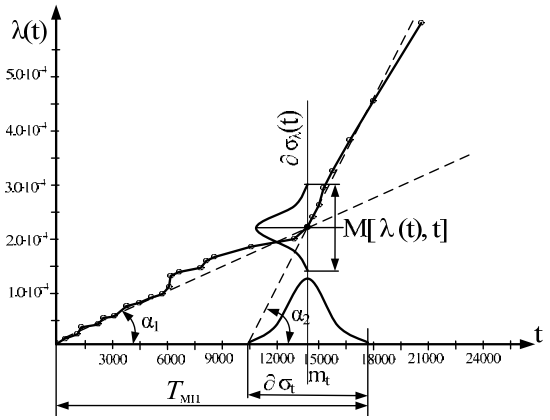


Рис. 1. Эмпирическая функция интенсивности отказа вентилятора ВМЭ-12А

Руководствуясь материалами диагностических обследований, можно отметить, что физическая природа отказов в диапазоне наработки до точки перелома (рис. 1) кривой интенсивностей отказов характеризуется наличием как внезапных, так и постепенных отказов. Следовательно, соотношение между внезапными и постепенными отказами в диапазоне после точки перелома влияет на характер изменения интенсивности отказов λ(t), и функция имеет вид непрерывно возрастающей

во времени. Это является следствием накопления в деталях и узлах каких-либо необратимых изменений в результате влияния эксплуатационных факторов: тепловых, механических, электрических и химических. Наличие характерной точки перелома в зависимости λ(t) позволяет увязать межремонтный период с этой точкой, и очевидно, что решить рассматриваемую задачу в отношении ЭМ для случаев нормального закона, логарифмически-нормального и закона распределения Вейбулла в причастности к оценке надежности узлов как ЭМ рудничного взрывозащищенного исполнения и общепромышленного назначения. Для экспоненциального закона, описывающего распределение отказов в эксплуатации на участке от приработки до начала старения и износа, межремонтный период определяется в соответствии с нижней границей доверительного интервала.

Таблица 1

Результаты расчета межремонтного периода электрических машин рудничного взрывозащищенного исполнения

Вычисляемые параметры	Вентилятор местного проветривания ВМЭ-12	Вентилятор местного проветривания ВМЭВО-8	Вентилятор местного проветривания ВМЭВО-6	Привод погрузочного устройства комбайна 2SG4225S-4
Обозначение на графике	1	2	3	4
$T_{МП}$, час	19780	11250	9670	8120
Нижняя граница доверительного интервала T_1, час	19120	10510	9130	7440
Верхняя граница доверительного интервала T_2, час	20440	11980	10220	8790

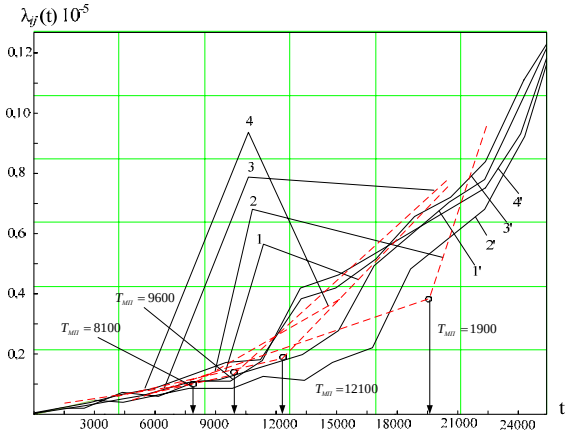


Рис. 2. Межремонтный период электрических машин рудничного взрывозащищенного исполнения

Использование вышеприведенного принципа позволило определить оптимальную периодичность ремонтно-восстановительных воздействий для конкретных горнотехнических условий, которые характеризуются определенными характеристиками, и со своими законами распределения отказов. Некоторые результаты расчета определения межремонтного периода для ЭМ рудничного взрывозащищенного исполнения отражены в табл. 1 и на рис 2. На рис. 2 принято следующее обозначение: 1`, 2`, 3`, 4` соответствуют эмпирическим функция интенсивности отказов ЭМ и 1, 2, 3, 4 представляют теоретические функция интенсивности отказов соответственно для данных машин.

Таким образом, стратегия ТОиР должна опираться частично не на детерминированную систему планово-предупредительного ремонта, а на стохастическую систему, предусматривающую проведение ремонтно-обслуживающих воздействий в зависимости от состояния элементов ЭМ. В этом случае если не имеется явной точки перелома, т. е. симметричность функции распределения, определение периодичности и продолжительности ТОиР ЭМ может быть регламентировано из условия обеспечения наибольшей вероятности безотказного функционирования величиной равной нижней границе доверительного интервала. С учетом последствий и критичности отказов, а также свойств и особенностей симметричных и асимметричных законов распределения, которым подчиняются наработки, стратегия межремонтного периода ЭМ должна исходить из факта вероятностно-статистических характеристик надежности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАКЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА

Дмитриева Е.М., Иванова А.Г.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: k.d.tomsk@mail.ru

При проведении студенческой НИР на кафедре точного приборостроения ТПУ была предложена схема исполнительного устройства с активным пакетным элементом [1, 2]. В связи с тем, что подобные конструктивные решения в литературе практически не отражены, потребовалось разработать и изготовить конструкцию макета подобного устройства, которая позволит проверить положения, на основе которых построен принцип действия устройства, а также отработать некоторые технологические приемы изготовления пакетного элемента [3]. В первую очередь необходимо было оценить характер перегрева пакетного элемента при протекании по нему достаточно больших токов. Создаваемое исполнительным устройством тяговое усилие пропорционально произведению силы тока, протекающего по последовательно соединенным пластинам пакета, на число этих пластин. В дальнейшем будем называть это произведение «числом ампер-слоев». Дело в том, что на этапе макетирования изготовить пакет с достаточно большим числом пластин (слоев) сложно, поэтому принято решение создавать необходимое число ампер-слоев за счет увеличения протекающего по пакету тока. Однако известно, последнее вызывает повышенное выделение тепла на активных сопротивлениях пластин, что может привести к нежелательным последствиям, в частности к разрушению пакетного элемента и невозможности проведения комплекса исследований макета. Целью настоящей работы была оценка возможности применения в качестве материала пакетного элемента тонкой алюминиевой фольги.

В качестве основы для изготовления пакетного элемента была выбрана лента из алюминиевой фольги толщиной 0,07 мм, на которой с одной стороны нанесена с помощью клея бумажная изоляция. Ширина ленты – 50 мм. Пакетный элемент изготавливается из этой ленты методом сгиба ее в «гармошку». Необходимый характер протекания по отдельным пластинам электрического тока достигается соответствующими вырезами в ленте в местах ее перегиба. В соответствии с [1] эти места представляют собой перемычки, площади сечения которых существенно меньше сечений основной части пластин, и в которых ожидается существенное увеличение плотности тока. Другими словами эти участки сужения площади сечения представляют собой зоны повышенного тепловыделения, а оставшиеся участки поверхности пластин можно считать зонами охлаждения. Методика проведения экспериментальных исследований заключается в том, что в теле пластины создаются зоны сужения сечения, по которому протекает ток, и фиксируется закон изменения температуры теплонапряженного участка. Геометрия исследуемых пластин приведена на рис. 1.

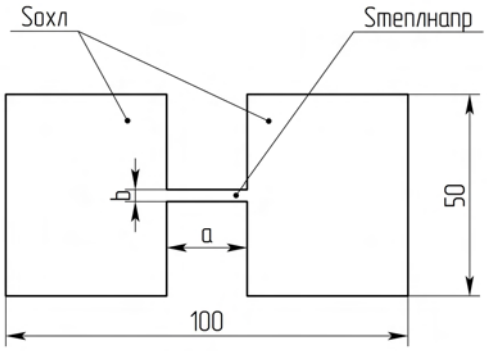


Рис. 1. Геометрия исследуемой пластины

В данном случае общие размеры пластины выбирались как 100х50 мм, ширина теплонапряженного участка у всех пластин была **b**=3мм, а длина этого участка **a** задавалась в диапазоне от 4 м до 80 мм.

Измерение температуры теплонапряженного участка производилось как с помощью термопары, входящей в состав электронного мультиметра VC9808, оптического пирометра АКИП-9307, так и посредством металлического термометра сопротивления. При этом последний прием измерения температуры оказался наиболее стабильным. Термометр сопротивления изготавливался из медной изолированной проволоки диаметром 0,09 мм и длиной 2–2,5 метра, которая наматывались на тот участок, температуру которого необходимо измерять. Зная температурный коэффициент сопротивления материала проволоки, температуру окружающей среды и изменение сопротивления нагретой проволоки, достаточно просто можно определить температуру нагретого участка пластины. Сопротивление проволочного датчика измерялось с помощью миллиомметра Е6-18 и цифрового мультиметра VC9808. По исследуемой пластине пропускался постоянный ток силой 10 А, и через каждые 10 секунд определялась искомая температура. Пластина закреплялась в специальном приспособлении, как показано на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований приведены на графиках рис. 3. Эти графики показывают, что установившаяся температура теплонапряженного участка наименьшей длины (а=4мм) не превышает 45°С, а участок длиной а=80 мм через 80 с достигает температуры 300°С и перегорает. Необходимо отметить, что температура плавления алюминия составляет 660°С, а разрушение теплонапряженного участка происходит за счет сгорания пропитанной клеем бумажной изоляции алюминиевой ленты.

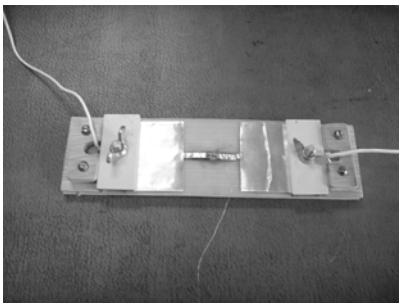


Рис. 2. Исследуемая пластина

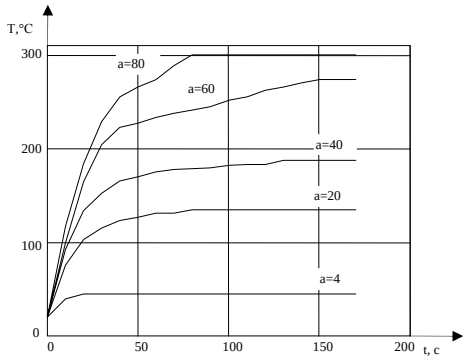


Рис. 3. Характер изменения температуры теплонапряженных участков пластин

На рис. 4 приведен график, показывающий связь установившейся температуры пластины и геометрического параметра α, представляющего собой отношение площади теплонапряженного участка $S_{теплонапр}$ к площади тех участков пластины $S_{охл}$, которые рассеивают тепло в окружающую среду:

$$\alpha = \frac{S_{теплонапр}}{S_{охл}}.$$

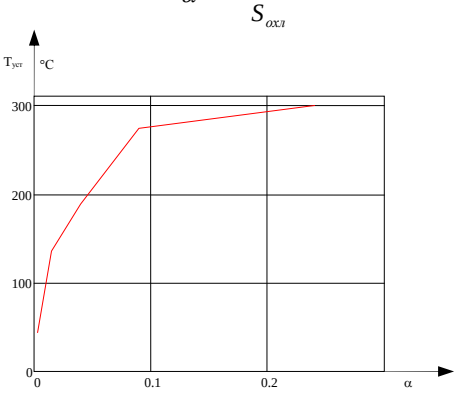


Рис. 4. Связь установившейся температуры и геометрии пластины

Полученные результаты показывают, что при значении параметра α, не превышающего 0,02, температура пластины не будет превышать величин, препятствующих длительной работе макета исполнительного устройства. Однако можно указать, что возможно проведение экспериментов и при α >0,02, но при этом время проведения эксперимента на макете должно быть ограниченным. Для этого следует воспользоваться результатами, представленными на рис. 3.

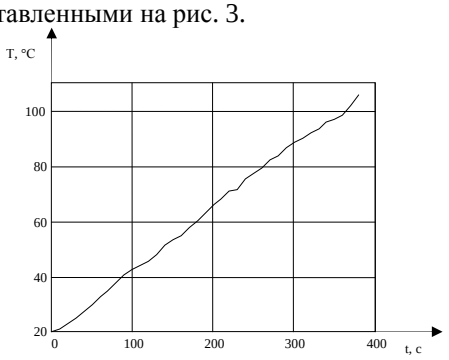


Рис. 5. Характер нагрева пакетного элемента

Кроме того были проведены эксперименты по исследованию собранного пакета, содержащего 20 пластин. В таком случае происходит взаимное нагревание соседних пластин. По конструктивным соображениям на пакете в верхней и нижней его поверхностях закреплены плоские пластины из алюминиевого сплава толщиной 0,8 мм, служащие как для поддержания геометрической конфигурации пакета, так и для организации токоподвода. На пакет был намотан металлический термометр сопротивления из тонкой медной проволоки и по известной методике произведено определение его температуры при протекании по его пластинам тока силой 10 А. Результаты этого эксперимента приведены на рис. 5.

Из приведенного графика следует, что длительность проведения исследования макета исполнительного элемента без серьезных для него последствий может достигать 5 – 6 минут, что бывает вполне достаточным для определения необходимых параметров макета.

Список литературы

1. Патент РФ № 2378755 Моментный двигатель. В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников, Е.Н. Горячок, А.В. Квадяева. Бюллетень изобретений № 1, 2010.
2. Дмитриева Е.М., Иванова А.Г., Костромин А.К. Определение характера протекания тока по пластине // Современные техника и технологии: Труды XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. Т. 1. С. 403–404.
3. Иванова А.Г. Экспериментальная установка для исследования исполнительного устройства с пакетным элементом // См. настоящий сборник.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ БАРАБАННОЙ ПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗВОДНОГО ФТОРОВОДОРОДА

Дмитриенко В.Н.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ЭЛТИ
E-mail: Hohol1987@sibmail.com

Современный этап развития промышленного производства фтороводорода характеризуется, прежде всего, переходом к использованию передовой технологии, необходимостью добиться, возможно, более высоких показателей работы оборудования, стремлением свести к минимуму производственные потери, свести к минимуму влияния технологии производства на экологию. Это возможно только при условии значительного повышения качества управления промышленными объектами путем широкого применения АСУ ТП.

Технико-экономическими предпосылками создания АСУ ТП являются, прежде всего, рост масштабов производства, усложнение связей между звеньями технологического процесса, повышением требований к обеспечению точности, надежности, экономичности работы оборудования.

Для повышения эффективности работы производства фтороводорода необходимо правильно организовать оперативное управление печью (узлом термического разложения плавикового шпата). Это позволит минимизировать расход плавикового шпата и серной кислоты, обеспечить оптимальные энергетический и тепловой режимы работы печи.

Безводный фтороводород производится путем разложения плавикового шпата CaF_2 в печи разложения (рис. 1).

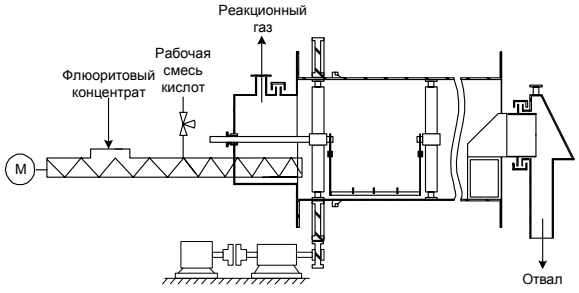


Рис. 1. Схема барабанной вращающейся печи разложения

Флюоритовый концентрат (плавиковый шпат) подается в отделение термического разложения барабанной печи, куда одновременно поступает рабочая смесь кислот, содержащей 87…92% серной кислоты, 6…12% фтороводорода и до 3% воды. Рабочая смесь кислот приготавливается из товарных сортов олеума, купоросного масла и отбираемой из производственного цикла оборотной кислоты. Из печей выводится отвал, состоящий в основном из сульфата кальция, и печной газ, содержащий преимущественно фтороводород. И в отвале и в печном газе содержится также небольшое количество продуктов, образующихся по побочным реакциям. В барабанной печи

протекает следующая реакция сернокислотного разложения фторида кальция с выделением газообразного фтороводорода:

$$CaF_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2HF\uparrow.$$

Степень разложения плавикового шпата достигает 95…98% при избытке серной кислоты над стехиометрическим количеством 5…12%. Отвальный гипс содержит 0,7…1,5% фторида кальция, 2,0…7,0% серной кислоты и остальное – продукты разложения фторида кальция и примесей, входящих в состав плавикового шпата.

С растущими требованиями к экономической эффективности производства фтороводорода, вызванными ростом цен на сырье и рабочую силу, возникает потребность в улучшении качества протекания технологического процесса и увеличении межремонтного цикла технологического оборудования, путем создания автоматизированной системы управления, позволяющей вести технологический процесс в оптимальном режиме.

Для обеспечения высокой степени разложения ФК необходимо установить жесткие требования к тепловому режиму технологического аппарата, системе дозирования и составу компонентов производства фтороводорода. Степень разложения ФК и рабочей смеси кислот зависит в большей степени от величины теплового потока и условий теплопередачи от спиралей к реакционной среде (РС). Температура РС определяет кинетические параметры процесса, и степень разложения зависит от многих факторов, в том числе от температуры в зонах обогрева и среднего времени пребывания смеси в печи. В свою очередь, время пребывания РС в печи находится в определённой зависимости от скорости вращения и угла наклона барабана. Ошибки в управлении нагревом барабанной печи приводят как к экономическим потерям электроэнергии и сырья в виде высокой концентрации исходных реагентов в отвале, так и ухудшению экологических показателей производства в связи с высокой токсичностью исходных реагентов и продуктов реакции в отвале. Избыточный нагрев РС приводит к спеканию продуктов реакции, испарению серной кислоты, что загрязняет готовый продукт, а также к увеличению энергозатрат.

Задачи управления нагревом печи состоят в следующем:

1. Подача в печь строго определенного количества основных реагентов, поскольку избыточное количество реагента будет практически полностью выброшено в отвал.

2. Поступление к реакционной массе необходимого количества тепла для наиболее полного разложения плавикового шпата при соблюдении оптимального распределения температуры по длине печи с точки зрения кинетики реакции и технологических ограничений.

3. Подача в печь смеси реагентов с постоянным расходом для обеспечения равномерной транспортировки и нагрева реакционной массы.

Для создания эффективных алгоритмов управления барабанной печью разложения с технологической средой необходимо построить динамическую модель теплового процесса. При условии качественной работы подсистемы приготовления входной рабочей смеси составляющие реагенты реакционной среды должны поступать в барабанную печь в строгом стехиометрическом соотношении.

На рис. 2 представлена функциональная схема динамической модели управления нагревом барабанной печи СКБ-5002.

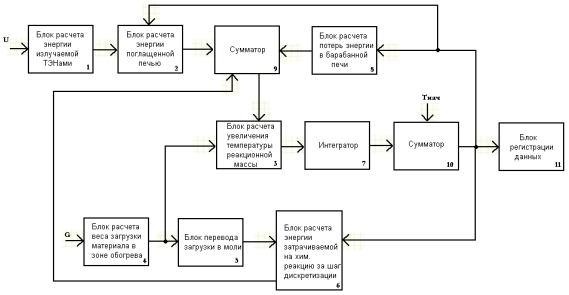


Рис. 2. Функциональная схема динамической модели

На схеме: U – напряжение, подаваемое на спирали; G – расход ФК, Тфут – температура футеровки; Тнач – начальная температура РС

На основе функциональной схемы динамической модели была разработана имитационная модель в программной среде Matlab 7.0, которая изображена на рис. 3.

Блок 1 обеспечивает расчет количества энергии, излучаемого нагревательными спиралями, в зависимости от силового напряжения с выхода инвертора. Выход блока 1 является входом блока 2, где происходит расчет тепла, поглощенного печью. Задача блока 4 – расчет массы реагентов, находящихся в зоне обогрева на каждый шаг дискретизации. Для расчета массы реакционной среды использовалась функция Integrator. При интегрировании расхода шнекового питателя загрузки печи формируется значение массы реакционной среды, находящейся в печи. Информация с блока 4 используется для расчета прироста температуры и для перевода количества загрузки в моли в блоке 5 по формуле

$$\upsilon = \frac{m_p}{M},$$

где M – молярная масса шпата, кг/моль; υ – количество шпата, моль; m_p – масса шпата, кг.

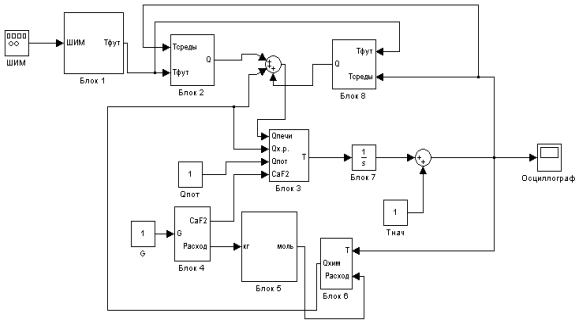


Рис. 3. Имитационная модель САУ в программной среде Matlab 7.0

Блок 6, получая информацию о текущей температуре реакционной массы и массы сырьевого потока, вычисляет энергию, затрачиваемую на химическую реакцию в технологической среде. В блоке 8 рассчитываются потери тепла в барабанной печи. Блок 9 суммирует расчетные данные блоков 2, 6, 8. Результат суммирования поступает на блок 3, где рассчитывается увеличение температуры за шаг дискретизации расчета. Информация об изменении температуры поступает на блок 7, который интегрирует температуру в течение времени пребывания технологической среды в зоне нагрева. Сумматор блока 10 учитывает изменения значений начальной температуры. Регистрация расчетных данных происходит в блоке 11 (осциллограф).

Таким образом, в статье представлена динамическая модель теплового процесса барабанной печи, с помощью которой исследуются тепловые процессы протекающие внутри барабанной печи.

Список литературы

1. Брендаков В.Н., Дементьев Ю. Н., Кладиев С.Н., Пищулин В.П. Технология и оборудование производства оксидов урана // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 6. – С. 95–98.
2. Пищулин В.П., Брендаков В.Н. Математическая модель процесса термического разложения в барабанной вращающейся печи // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 3. – С. 106–109.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОЛЕБАНИЙ В РЕЗОНАНСНОМ КОНТУРЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Долбня П.А.

Научный руководитель: Богданов Е.П., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: polina_dolbnya@mail.ru

Индукционный способ нагрева известен давно. Попытки создать оборудование на его основе предпринимались неоднократно, поскольку технология индукционного нагрева позволяла создать оборудование с высокими потребительскими характеристиками, такими как надежность, долговечность безопасность и неприхотливость. Устройство индукционного нагрева – это электромагнитное устройство для нагрева индукционными токами, которые возбуждаются в металле теплообменника переменным магнитным полем[1].

Современные технологии поверхностной закалки, пайки, отжига, отпуска и так далее требуют равномерного нагрева по сечению обрабатываемых деталей. Наибольшие проблемы вызывает термообработка деталей со сложной формы поверхности, например шестерен, так как условия нагрева вогнутых и выпуклых частей детали различны. Вершина зубца находится под действием большого количества источников тепла, чем впадина. При равномерном распределении удельной мощности это приводит к перегреву зубца относительно впадины. Это соответствует случаю, когда нагрев шестерни происходит током высокой частоты (ТВЧ), то есть глубина проникновения тока много меньше толщины зубца. Наоборот, при низкой частоте, когда глубина проникновения тока в зубцах падает и вместе с ней падает и удельная мощность, впадины начинают нагреваться сильнее зубцов. При использовании одночастотного индукционного нагрева достичь равномерного нагрева поверхности таких деталей затруднительно.

До недавнего времени двухчастотный нагрев под закалку реализовывался путем последовательного нагрева зубчатого колеса в двух индукторах, питающихся от генераторов разных частот. Появление новых, высоко автоматизированных источников питания, позволило существенно усовершенствовать режимы закалки, которые в настоящее время характеризуются высокими удельными мощностями (2–20 кВт/см^2) и временами нагрева порядка 50 – 300 мс [2].

При таких малых временах нагрева механическое перемещение детали из одного индуктора в другой приводит к недопустимой паузе в нагреве и резкому ухудшению температурного поля в зубчатом колесе. Поэтому актуальной задачей является создание преобразователя частоты (ПЧ) осуществляющего синтез выходной энергии, имеющей сложный гармонический состав, т. е. строго определенные гармоники с определенными заданными амплитудами. В настоящее время существуют несколько вариантов построения таких ПЧ, каждый из которых формирует свою гармонику, и содержит в своем составе частотный фильтр, который позволяет выбирать сдвиг фазы сигнала в пределах от 0 до 180 градусов и устанавливать частоту среза[3]. Альтернативный подход – гармонический синтез тока индуктора, основанный на формировании на входе резонансного контура многоступенчатого прямоугольного напряжения содержащего две преобладающие над остальными синтезируемые гармоники с требуемым соотношением амплитуд. На рис. 1 показан многоуровневый ПЧ, позволяющий сформировать ступенчатое напряжение с разными уровнями [4].

Выходное напряжение представленного ПЧ имеет ступенчатую форму, образующуюся путем сложения прямоугольных напряжений отдельных инверторно-трансформаторных ячеек, при этом величина уровня напряжения определяется коэффициентом трансформации. Каждый инвертор этого ПЧ имеет свой угол управления, определяющий длительность импульса соответствующего уровня.

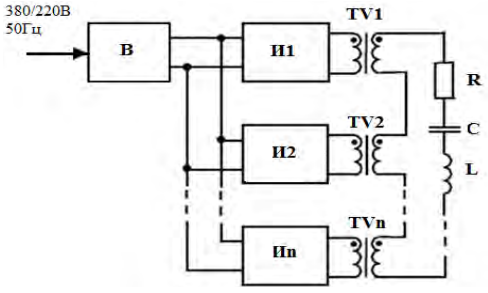


Рис. 1. Многоуровневый резонансный ПЧ

Гармонический состав отдельного элементарного прямоугольного напряжения формируемого одним инвертором описывается известным из курса ТОЭ соотношением:

$$U_{вых} = \frac{4E}{\pi} \cdot \left(\sin\frac{\alpha}{2}\cos wt + \frac{1}{3}\sin\frac{3\alpha}{2}\cos 3wt + ... + \frac{1}{k}\sin\frac{k\alpha}{2}\cos kwt \right), \quad (1)$$

где E – амплитуда прямоугольного напряжения, α – угол управления инвертором. Из выражения нетрудно заметить, что при угле управления $\alpha = 2\pi/3$, т. е. 120º, 3-я гармоника и кратные ей гармоники будут отсутствовать. Таким образом, даже имея один уровень напряжения можно синтезировать в резонансном контуре 1-ю и 5-ю гармоники тока, так как амплитуды высших гармоник

тока ничтожно малы и их частоты далеки от резонансной частоты контура. Гармонический состав ступенчатого напряжения многоуровневого ПЧ является суммой составляющих его элементарных прямоугольных напряжений, поэтому амплитуды гармоник при наличии n-ступенчатого напряжения можно выразить следующим образом:

$$U_к = \sum_{i=1}^{n} \frac{2E_i}{kp} \sin\frac{k\alpha_i}{2}(1-(-1)^k), \qquad (2)$$

где E_i и α_i – амплитуда уровня напряжения и соответственно угол управления i-й ступени, k-номер гармоники. Приравнивая нужные гармоники к нулю, и решая полученную систему уравнений можно синтезировать ступенчатое напряжение с требуемым гармоническим составом.

Например, для синтеза в чистом виде 1-й и 7-й гармоник напряжения остальных гармоник необходимо приравнять к нулю. Однако, чем больше количество гармоник будет исключено, тем чище спектр, однако тем большее количество уровней для этого потребуется. Поэтому нужно выбрать только старшие гармоники, имеющие большую амплитуду, например 3-ю, 5-ю, 9-ю. На представленном рис. 2 можно увидеть, что с помощью пакета Mathcad напряжения 3-й, 5-й и 9-й гармоник приравнены к нулю, для того чтобы получить результаты синтеза 1-й и 7-й гармоник.

Given

$$E_1 \sin\frac{3\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{3\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{3\pi}{2} = 0$$

$$E_1 \sin\frac{5\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{5\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{5\pi}{2} = 0$$

$$E_1 \sin\frac{9\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{9\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{9\pi}{2} = 0$$

Рис. 2. Приравнивание 3-й, 5-й и 9-й гармоник напряжения к нулю

Решение системы (2) по трем перечисленным гармоникам дает решение при напряжении с амплитудами уровней E1* = 1,387 и E2* = 1,109 в относительных единицах и углами $\alpha1 = 0{,}185\pi$ и $\alpha2 = 0{,}7\pi$. Полученные результаты расчета 1-й и 7-й гармоник с помощью пакета Mathcad:

$$U_{1M} = E_1 \sin\frac{\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{\pi}{2} = 2.865$$

$$U_{3M} = E_1 \sin\frac{3\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{3\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{3\pi}{2} = 3.724\cdot10^{-7}$$

$$U_{5M} = E_1 \sin\frac{5\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{5\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{5\pi}{2} = -3.803\cdot10^{-8}$$

$$U_{7M} = E_1 \sin\frac{7\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{7\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{7\pi}{2} = -1.278$$

$$U_{9M} = E_1 \sin\frac{9\alpha_1\pi}{2} + E_2 \sin\frac{9\alpha_2\pi}{2} + \sin\frac{9\pi}{2} = -1.472\cdot10^{-7}$$

Из представленных результатов, можно сделать вывод, что 3-я, 5-я и 9-я гармоники отсутствуют, следовательно, представленный в работе метод гармонического синтеза двухчастотного тока колебательного контура позволяет формировать комбинации 1-й и k-й гармоник до определенной чистоты спектра, при этом лимитирующим фактором является количество уровней ступенчатого выходного напряжения ПЧ.

Практическим результатом этой работы является универсальность и соответственно широкая область применения метода гармонического синтеза в индукционном нагреве, позволяющего определить большой набор форм многоступенчатого напряжения и, таким образом, синтезировать в зависимости от конфигурации нагреваемого тела практически всю номенклатуру наиболее востребованных гармоник тока индуктора.

Список литературы

1. http://delta-grup.ru
2. Дзлиев С.В. Принципы построения систем питания установок индукционной закалки зубчатых колес при двухчастотном нагреве // Материалы конф. «APIH05» Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – С.193–201
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – 9-е изд., доп. – М.: «Высшая школа»,1996. – С. 638.
4. Юшков А.В., Земан С.К., Осипов А.В. Гармонический синтез двухчастотных колебаний в последовательном резонансном контуре многоуровневого преобразователя частоты // Материалы конф. СТТ-2009. – Т. 1. – С. 285–286.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОФИЛЯ КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Ахунов Д.А., Долгова А.В.

Научный руководитель: Харламов В.В., д.т.н., профессор

Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г. Омск, пр. К.Маркса, 35
E-mail: lady_annie@mail.ru

Качество работы тягового электродвигателя (ТЭД) зависит от множества факторов, которые в общем случае можно подразделить на электромагнитные и механические. Обратимся к вопросу влияния механических факторов на процесс коммутации в ТЭД.

Многочисленные экспериментальные исследования, а так же эксплуатация машин постоянного тока в реальных условиях показали, что в любой машине при общей настройке на оптимальную коммутацию всегда находятся как пере- так и недокоммутированные секции. Таким образом,

процесс коммутации является в некоторой степени случайным. Одним из проявлений случайности является так называемая неидентичность коммутационных циклов. Причем если неидентичность, вызванная факторами электромагнитной природы более или менее стабильна во времени, то, вызванная механическими причинами, не только неравномерна по коллектору, но и сравнительно быстро изменяется во времени [1]. Одним из факторов механической природы, оказывающих влияние на неидентичность коммутационных циклов, является профиль коллектора.

Для оценки этого влияния проведены экспериментальные исследования профиля коллектора ТЭД ТЛ-2К1 в условиях локомотивного депо.

Профилограммы сняты с помощью прибора контроля профиля коллектора электрических машин ПКП-4М, осуществляющего бесконтактный контроль состояния рабочей поверхности коллектора двигателя путем измерения расстояния между датчиком и контролируемой поверхностью [2]. Датчиком прибора является дифференциальный вихретоковый параметрический преобразователь, установленный в окне щеткодержателя. Регистрация профиля коллектора осуществлялась цифровым накопителем, который, выполняя аналого-цифровое преобразование сигнала, записывал полученную информацию во встроенное оперативно-запоминающее устройство.

Всего обследовано 75 коллекторов ТЭД до и после ремонта, а также коллекторы до проведения испытаний и после.

По снятым профилограммам осуществлялось разложение периодической функции профиля коллектора $\eta(x)$ с периодом 2π, заданной рядом значений η_j, по тригонометрическим функциям:

$$\eta(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{\nu=1}^{n} A_\nu \cdot \sin(\nu \cdot \frac{2\pi}{L} \cdot x + \varphi_\nu);$$

где $\frac{a_0}{2}$ – постоянная составляющая; ν – номер гармоники; A_ν, φ_ν – амплитуда и фаза ν-й гармоники; L – длина окружности коллектора.

Рассчитывались различные диагностические параметры, такие как биение коллектора, среднеквадратическое отклонение (СКО) высот ламелей, значений первой и второй производной функции профиля коллектора и их СКО.

Профилограмма коллектора ТЭД ТЛ-2К1 №679 с пробегом 30 тыс. км от последнего капитального приведена на рис. 1.

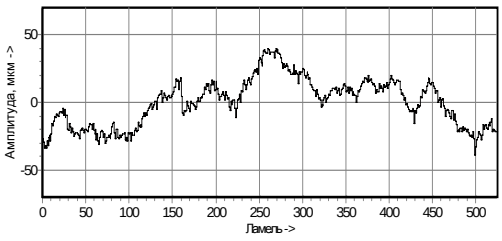


Рис. 2. Профилограмма коллектора ТЭД

Форма профиля коллектора зависит от состояния оборудования, предназначенного для формовки коллектора и его ремонта. В случае некачественной формовки коллектора происходит сдвиг коллекторных пластин относительно друг друга под воздействием механических и тепловых деформаций. В результате закон распределения относительных высот ламелей будет близок к нормальному. Неточность установки коллектора и инструмента при механической обработке, нежесткая система станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) приводит к отклонению формы профиля коллектора от цилиндрической. Некачественная сборка ТЭД так же приводит к появлению эксцентриситета и овальности коллектора.

При наличии значительных по амплитуде первой и второй гармоник распределение относительных высот ламелей становится двухмодальным (рис. 2).

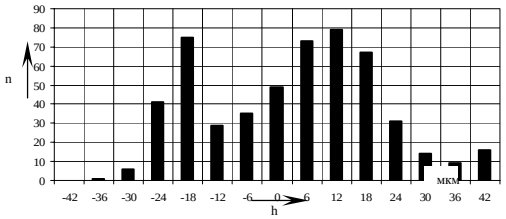


Рис. 3. Гистограмма распределения высот ламелей коллектора ТЭД

Для получения распределения относительных высот ламелей без учета влияния первой и второй гармоник, их исключили из расчета [3]. В результате приведенное на рис. 3 распределение без учета эксцентриситета и овальности близко к нормальному. При этом значение СКО высот с учетом первой и второй гармоники почти в два раза превышает этот параметр без учета тех же гармоник.

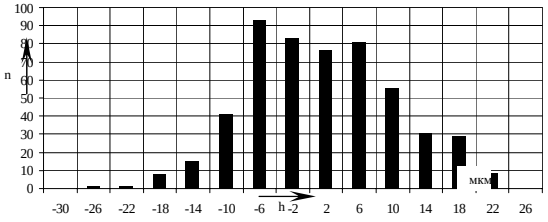


Рис. 4. Гистограмма распределения высот ламелей коллектора без учета первой и второй гармоник

Для оценки влияния поверхности коллектора на процесс коммутации может быть использовано максимальное значение перепадов соседних ламелей [4]. Гистограмма распределения перепадов ламелей ТЭД № 679 приведена на рис. 4. Закон распределения перепадов коллекторных пластин близок к нормальному.

Следует отметить, что первая и вторая гармоники не оказывают значительного влияния на закон распределения значений перепадов ламелей и на величину СКО.

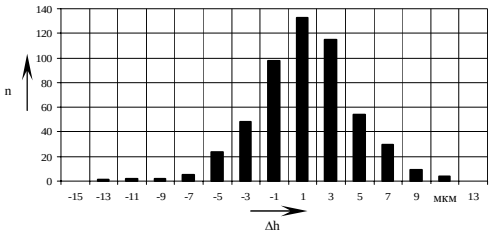


Рис. 5. Распределение значений перепадов коллекторных пластин

Наиболее информативным параметром, оценивающим влияние коллектора на процесс коммутации, является значение второй производной функции профиля коллектора (рис. 5). Расчет значений $\ddot{\eta}_j$ и определение минимального значения $\ddot{\eta}_{мин}$ осуществлялось по данным гармонического анализа:

$$\ddot{\eta}(x) = \frac{d^2\eta}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 \sum_{\nu=1}^{n} \nu^2 \cdot A_\nu \cdot \sin(\nu \cdot \frac{2\pi}{L} \cdot x + \varphi_\nu)$$

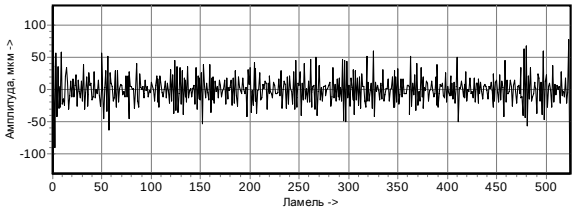


Рис. 6. Вторая производная функции профиля коллектора

На рис. 6 приведено распределение значений второй производной функции профиля коллектора ТЭД № 679, описываемое нормальным законом распределения. Отметим, что первая и вторая гармоники также незначительно влияют на закон распределения второй производной функции профиля коллектора и на значение СКО, как и на распределение перепадов. В данном случае можно говорить, что ускорение, сообщаемое коллектором щетке, определяется высшими гармоническими составляющими.

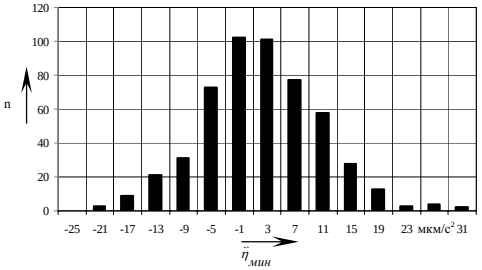


Рис. 7. Распределение значений второй производной функции профиля коллектора

Таким образом, к оценке состояния поверхности коллектора необходимо подходить комплексно, принимая во внимание характер законов распределения высот, перепадов, ускорений и их параметров. Качество формовки коллектора ТЭД можно оценивать по значению СКО относительных высот ламелей до и после испытаний, а механической обработки коллектора и сборки ТЭД по амплитудам низкочастотных гармоник и их изменению.

Определяющими параметрами при оценке воздействия профиля коллектора на коммутацию является минимальное значение второй производной функции профиля коллектора и СКО. Поскольку первая и вторая гармоники не оказывают существенного влияния на минимальное значение второй производной и закон распределения, то их можно не учитывать.

Список литературы

1. Авилов В.Д. Методы анализа и настройки коммутации машин постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 237 с.
2. Харламов В.В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока: монография / В.В. Харламов; Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2002. – 233 с.
3. Стрельбицкий Э.К., Стукач В.С., Цирулик А.Я. Статистическая обработка профилограмм коллектора машин постоянного тока // Известия Томского политехнического института. – 1966. – Т. 160. – С. 102–105.
4. Прогнозирование изменения состояния рабочей поверхности коллекторов в процессе работы электрической машины / Скороспешкин А.И., Воронин С.М.; Куйбышевский политехн. ин-т. – Куйбышев, 1982. – 10 с. – Деп. в Информэлектро 07.09.82, № 227 ЭТ–Д 182.

БУРОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА КОНТАКТЕ «ДОЛОТО – ГОРНАЯ ПОРОДА»

Епихин А.В.

Научный руководитель: Самохвалов М.А., доцент

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: chehov@sibmail.com

Объектом исследований данной научной работы являются электромагнитные явления при разрушении горных пород бурением, а именно исследование влияния различных факторов на электрические токи, возникающие при бурении скважин. На наш взгляд, эта тема весьма актуальна и может вызвать интерес в широких научных кругах. Создание информационного канала с забоем бурящейся скважины – это основная цель нашей работы. Ведь получение информации парал-

лельно с процессом бурения даже в условиях нынешней прогрессирующей науки весьма осложнено, зачастую из-за сложности доставки информации с глубины нескольких километров.

Основной целью исследований является разработка методики контроля разрушения горных пород бурением путем записи и анализа токов, протекающих через бурильную колонну с границы раздела: буровой инструмент – порода. Причем предполагается изучение не только импульсной (переменной) составляющей электрических токов, а также запись и анализ постоянной составляющей.

В прошедшем году, для проведения лабораторных исследования электрических токов, нами был совершен переход на новую и более совершенную опытную буровую установку на базе сверлильного станка. Она позволит максимально приблизить лабораторные исследования к реальным условиям бурения.

Изначально исследования велись на станке СКБ-5 с алмазной буровой головкой. Затем, для ускорения и упрощения экспериментов, был совершен переход на установку, в которой разрушение горных пород велось с помощью алмазных дисков. Основным недостатком этих установок была невозможность записи постоянной составляющей электрических токов с границы раздела горная порода – породоразрушающий инструмент. Кроме того, на этих установках нельзя было регулировать и контролировать интенсивность промывки забоя. Новая установка даёт возможность записывать не только импульсные токи, но и постоянную составляющую токов, регулировать и контролировать подачу промывочной жидкости, осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, его частоту вращения. Кроме того, в отличие от прошлых модификаций она дает возможность записывать постоянную составляющую токов, благодаря усиленному информационному каналу. Таким образом, мы получаем возможность изменять параметры режима бурения и контролировать токи в широком диапазоне частот, что существенно расширяет круг исследований. Следует привести состав данной экспериментальной установки:

1) буровая установка на базе сверлильного станка;
2) циркуляционная система;
3) система подачи осевой нагрузки на ПРИ;
4) контрольно-измерительные приборы.

Буровая установка смонтирована на базе вертикально-сверлильного станка типа ГС2112 (ГС2116), привод которой осуществляется с помощью электродвигателя (более мощного, чем на базовых моделях). Электродвигатель постоянного тока подключен к электросети через два выпрямителя, которые позволяют подавать ток и напряжение различной величины, что дает возможность регулировать частоту вращения долота. Патрон со сверлом заменен на специальное устройство для установки сменных долот. Мы имеем целый комплект породоразрушающих инструментов (ПРИ): шарошечные, алмазные, буровые головки. Прототип вертлюга на устройстве закрепления ПРИ буровым рукавом подсоединён к насосу. Шлам и отработанная промывочная жидкость самотеком посредством шланга направляются в бочку-отстойник циркуляционной системы. Устройство, служившее на базовой модели для ручной подачи осевой нагрузки, на данной установке модернизировано в систему полуавтоматической приложения регулируемой осевой нагрузки (рис. 1). Для этого, шкив на механизме подачи ПРИ с помощью стального тросика связан посредством системы блоков с устройством, на которое лаборант навешивает необходимое количество грузов (грузы различной массы также имеются в наличии). Для точного определения величины проходки долота, на шкиве смонтирован пластиковый градуированный диск, на котором нанесены значения величины осевого перемещения долота при бурении.

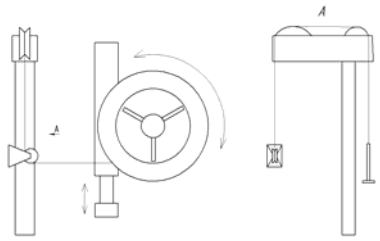


Рис. 1. Система подачи осевой нагрузки

Циркуляционная система включает в себя помимо насоса (привод осуществляется электродвигателем), вертлюга, шлангов и бочки-отстойника также бочку, в которую переливается осветлённая промывочная жидкость и из которой идет всасывание промывочной жидкости. Циркуляционная система выполнена по замкнутой схеме: насос – вертлюг – забой – сборник шлама и промывочной жидкости непосредственно на станке (стальная емкость) – бочка-отстойник – бочка с осветлённой промывочной жидкостью (рис. 2).

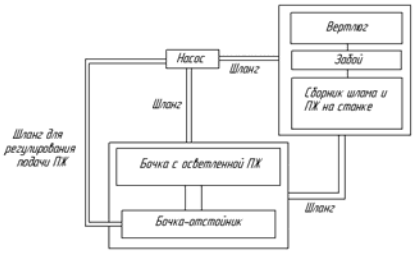


Рис. 2. Схема циркуляционной системы

Имеется целый комплекс контрольно-измерительных приборов: вольтметры, амперметры, тахометр (для определения частоты вращения породоразрушающего инструмента), манометр (для определения давления подачи промывочной жидкости), система контроля и записи электрических токов с границы раздела горная порода – ПРИ. Все измеряемые параметры планируется

сразу записывать на персональный компьютер с помощью специальной программы. Буровая установка с датчиками и компьютер с подведенным кабелем для передачи данных располагаются на разных этажах лаборатории.

Измерительный комплекс будет включать следующие связи:

1) механическая
2) гидравлическая
3) электрическая

Механическая связь будет осуществляться путем подачи осевой нагрузки на долото и взаимодействия ПРИ и горной породы. Гидравлическая связь будет осуществляться путем движения промывочной жидкости в циркуляционной системе. Электрические связи имеют место в приводе основных агрегатов установки и измерительном комплексе. Конечной целью разработки новой установки является создание эффективного электрического канала от границы раздела «горная порода – долото» к измерительному комплексу, а затем изучение его и выявление интересующих нас закономерностей.

Рациональность принятого решения заключается в том, что на новой установке у нас будет возможность проводить опыты, варьируя значения всех параметров режима бурения, что позволит максимально приблизить лабораторные исследования к естественным условиям бурения. Также нельзя забывать о том, что на данной установке планируется проводить лабораторные работы для студентов кафедры бурения.

Схема расположения элементов установки приведена на рис. 3.

Опытная установка сейчас находится на последней стадии монтажа. Проведены испытания гидравлического и электрического каналов связей. Подготовлены керновые образцы горных пород, породоразрушающие инструменты, прочие материалы, необходимые для проведения опытов.

Опираясь на данные, полученные нами в прошлом году, можно быть уверенным, что результатами опытов на новой установке будут новые зависимости амплитудно-частотных характеристик электрических токов, возникающих при разрушения горных пород бурением, от параметров режима бурения, состава промывочной жидкости, состава и флюидонасыщенности горных пород. В предыдущих работах при регистрации импульсных токов во время резания образов горных пород алмазными дисками нами были получены рад зависимостей. Так, при бурении образца насыщенного нефтью по сравнению с ненасыщенным образцом мы наблюдаем резкий рост абсолютных значений импульсных токов, что достаточно заметно при сравнительном анализе. Именно этот факт очень важны при осуществлении нашей основной задачи – определения точного момента внедрения породоразрушающего инструмента в продуктивный пласт.

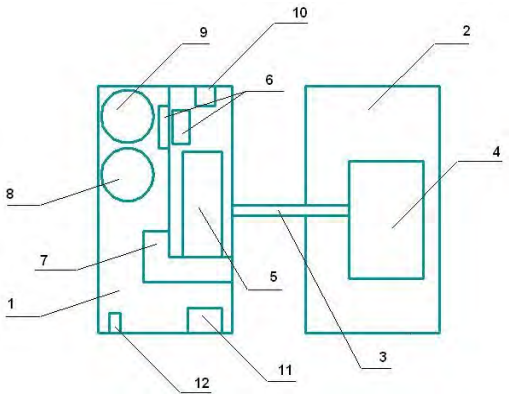


Рис. 3. Схема расположения элементов буровой установки с комплексом контроля электрических токов с границы раздела «горная порода – долото»: 1 – помещение с лабораторным оборудованием; 2 – помещение для обработки данных; 3 – информационный канал связи; 4 – компьютер; 5 – буровой станок на базе сверлильного; 6 – вольтметр, амперметр, 7 – насос; 8 – емкость для отстаивания промывочной жидкости; 9 – емкость с промывочной жидкостью; 10 – тахометр; 11 – приспособление для повышения осевой нагрузки на долоте; 12 – пусковое устройство

Таким образом, более совершенный опытный буровой станок поможет нам подтвердить полученные ранее закономерности и, вероятно, вывести новые. А правильно обработанные закономерности дадут нам новую методику, определяющую момент внедрения в продуктивный горизонт по изменению импульсных токов.

Это очень важное заключение, так как оно может стать основой разработки реально используемой системы контроля разреза путём регистрации импульсных токов при бурении скважин.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Есин П.С.

Научный руководитель: Попов В.И., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: someth1ng@sibmail.com

Одним из способов увеличения коэффициента полезного действия (КПД) зарядки емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) является регулирование напряжения в течение зарядного цикла [1, 2].

В указанной литературе приведено решение задачи по отысканию оптимальной формы кривой изменения зарядного напряжения, при которой потери в омических сопротивлениях цепи оказываются минимальными в условиях форсированного времени зарядки. Показано, что минимальным потерям соответствует линейное во времени нарастание напряжения U_c на ЕНЭ

$$U_c = (U_{сн} - U_{со})\frac{t}{T_з} + U_{со},$$

где $U_{сн}$ – напряжение на накопительном конденсаторе в конце заряда; $U_{с0}$ – начальное напряжение на конденсатор; $T_з$ – постоянная времени цепи заряда; t – время заряда.

Зарядный ток при этом

$$i_з = C_н \frac{dU_c}{dt} = C_н \frac{U_{сн} - U_{со}}{T_з}$$

должен оставаться неизменным в течение всего времени зарядки ($C_н$ – емкость накопительного конденсатора).

Питающее напряжение

$$U = i_з R + U_c = (U_{сн} - U_{со})\frac{C_н R + t}{T_з} + U_{со}$$

изменяется также по линейному закону (R – сопротивление зарядной цепи).

Из вышеизложенного следует, что источник питания ЕНЭ должен быть источником тока с большим внутренним сопротивлением. Значение тока на выходе такого источника в любой момент времени должно оставаться постоянным независимо от сопротивления нагрузки. При этом не наблюдается начальных бросков тока (как, например, при экспоненциальном заряде), так как источник тока гарантирует неизменность зарядного тока $i_з$ в течение всего времени зарядки.

Для получения максимально возможных КПД процесса зарядки конденсаторов ЕНЭ используют индуктивно-емкостные преобразователи (ИЕП), которые преобразуют источники напряжения в источники тока [1, 2, 3], которые представляют особый класс электроустройств, предназначенных для работы на переменном синусоидальном токе и представляют собой чисто реактивные четырехполюсники, содержащие реактивные элементы обоих типов. При этих условиях выполняется стабилизация тока нагрузки. Как недостаток следует также отметить, что ИЕП лишь с определенным приближением могут выполнять функции преобразователя источника напряжения в источник тока и стабилизировать ток в переменной нагрузке. Факторами, ухудшающими стабильность зарядного тока и КПД зарядных устройств на основе ИЕП, являются омические сопротивления обмоток дросселей ИЕП, и особенно это проявляется при высоких напряжениях.

Индуктивно-емкостные преобразователи включаются между первичным источником питания и нагрузкой. Для согласования параметров нагрузки с параметрами источника ИЕП включаются, как правило, через согласующий трансформатор. Согласующий трансформатор включается либо на входе ИЕП, либо на его выходе. Это зависит от ряда факторов, но в большинстве случаев трансформатор включается между нагрузкой и ИЕП. Свойство поддерживать примерно стабильный ток в переменной нагрузке ИЕП сохраняет и в том случае, если нагрузка подключается к преобразователю через выпрямитель. Наличие согласующего трансформатора рассчитанного на проходную мощность ИЕП существенно увеличивает массу зарядного устройства.

В качестве источников для зарядки ЕНЭ применяют установки, состоящие из синхронного генератора, повышающего трансформатора и выпрямителя.

Синхронные генераторы для зарядных устройств выполнены по обычной конструктивной схеме, а именно: внешний шихтованный из электротехнической стали сердечник с якорной обмоткой, уложенной в его пазах и внутренний цилиндрический ротор. В автономных устройствах для увеличения запаса кинетической энергии роторы таких синхронных генераторов, как правило, снабжаются маховиками [4]. Использование же маховиков приводит к увеличению общей массы автономного зарядного устройства и существенно увеличивает время разгона электромашинного агрегата. В этих случаях для сокращения времени разгона и соответственно времени готовности генератора к работе на нагрузку приходится увеличивать мощность привода, что является существенным недостатком для автономных инерционных накопителей энергии, сопрягаемых с валами отбора мощностей двигателей внутреннего сгорания.

Зарядка ЕНЭ от многофазного, например, трехфазного генератора переменного тока через вентили имеет большие энергетические преимущества по сравнению с однофазным.

Уменьшение массы автономного высоковольтного электромашинного зарядного источника и механической мощности его привода; увеличение электрической прочности изоляции источника и трассировки зарядной цепи ЕНЭ; уменьшение величины зарядного напряжения источника и повышение надежности работы; повышение коэффициента полезного действия в целом можно, если использовать устройство, представленное на рис. 1 [5].

Устройство содержит ЕНЭ, состоящий из ряда *n* последовательно соединенных накопительных конденсаторов 1. Четные конденсаторы в последовательной цепи снабжены цепями перемены полярности 2 (например, тиристорными коммутаторами). Источник переменного напряжения представляет собой ненасыщенный высоковольтный электромашинный генератор дискового торцевого типа с форсированным самовозбуждением, имеющий главную якорную обмотку 3 и обмотку самовозбуждения 4, уложенную в те же пазы, что и главная обмотка. Индуктор генератора имеет так же две обмотки возбуждения 5 и 6. Обмотка возбуждения 5 служит для создания начального возбуждения и всегда подключена к источнику постоянного тока любого типа. Форсировочная обмотка возбуждения 6 подключается к обмотке самовозбуждения 4 через мостовой выпрямитель 7 только на время зарядки ЕНЭ. Блок 8 служит для управления процессом зарядки ЕНЭ. Своими общими точками катодные и анодные группы вентилей имеют возможность подключения на время зарядки к зажимам конденсаторов 1 соединенных последовательно в ЕНЭ и отключения после зарядки с помощью отделителей коммутационного аппарата 9.

Технические преимущества устройства заключаются в том, что зарядное напряжение источника уменьшено в *n* раз по сравнению с напряжением на ЕНЭ за счет раздельного параллельного заряда последовательно соединяемых его емкостей. Применение торцевого дискового генератора, у которого обмотка якоря расположена на изолированных магнитных зубцовых вставках, а также отключение его от накопителя после заряда с помощью отделителей быстродействующего коммутирующего аппарата существенно повышает электрическую прочность элементов и трассировки комплекса. Использование кинетической энергии дисковых роторов генератора позволяет увеличить его среднезарядную мощность и уменьшить мощность привода. Форсированное самовозбуждение ненасыщенного генератора обуславливает линейное нарастание зарядного напряжения на накопителе, обеспечивая при этом заряд постоянным по величине током, что, во-первых, создаёт благоприятные условия для работы вентилей высоковольтного выпрямителя, а во-вторых, существенно увеличивает КПД зарядного процесса. Эти преимущества сказываются особенно сильно в автономных зарядных устройствах, где частота разрядных импульсов составляет доли герца.

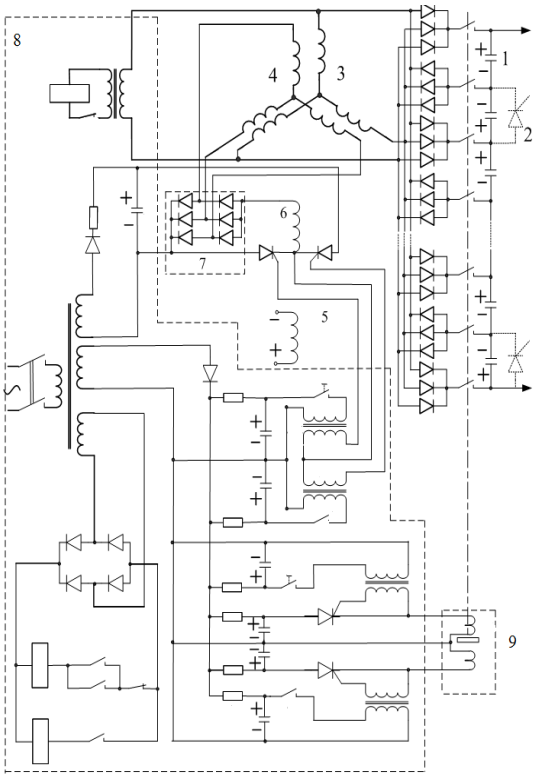


Рис. 1. Электрическая схема устройства

Список литературы:

1. Волков И.В., Вакуленко В.И. Источники электропитания лазеров. Техника. Киев, 1976. – 175 с.
2. Милях А.И. и др. Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. – Киев, 1974.
3. Шмелев К.Д., Королев Г.В. Источники электропитания лазеров. – М: Энергоиздат, 1981. – 168 с.
4. Глебов И.А., Кашарский Э.Г., Рутберг Ф.Г. Синхронные генераторы кратковременного и ударного действия. – Л.: Изд. Наука, 1985. – 224 с.
5. Попов В.И. Автономный высоковольтный комплекс. Патент на полезную модель РФ. № 57532.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДУГОГАСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Жуковская А.А.

Научный руководитель: Копылов Ю.В., к.т.н., доцент.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lapochka_85@sibmail.com

В настоящее время «Дивногорский завод никовольтной аппаратуры» разрабатывает серию однофазных автоматических выключателей (АВ) на полные токи до 200А. Испытания опытных образцов автоматических выключателей ВА 61-31 на номинальный ток 160А показали, что при номинальном токе токопровод нагревается до температуры сверх допустимой, малая термическая стойкость (при коротком замыкании I=1000А токопровод взрывается), низкая эффективность дугогасительной решетки. Поэтому было предложено усовершенствовать конструкцию автоматического выключателя.

В аппаратах управления переменного тока, особенно в автоматических выключателях в качестве дугогасительного устройства широко применяется дугогасительная решетка.

На рис. 1 изображена конструкция дугогасительной решетки, предлагаемая в данном аппарате ВА61-31, которая далека от совершенства. В ДУ, проходящем испытания на коммутацию номинальных токов, следов от дуги не наблюдалось, что говорит об его неэффективности. Можно предположить, что дуга гасилась простым ее растяжением, т. к. раствор контактов значительно превышает критическую длину дуги [3, стр. 324]. Главным недостатком применяемой решетки является то, что её необходимо разместить, так чтобы контакты располагались внутри решетки, что значительно усложняет конструкцию.

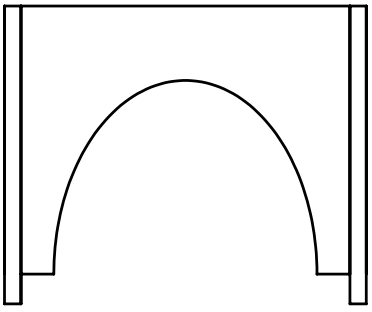


Рис. 1. Дугогасительное устройство аппарата ВА61-31

Для электрических аппаратов переменного тока наибольшую роль при гашении дуги играет характеристика восстанавливающейся электрической прочности (ВП) после обрыва тока дуги, так как она во многом определяет коммутационные возможности аппаратов. На ее основе можно определить отключающую способность коммутационного контактного устройства, которая может быть охарактеризована максимальным допустимым напряжением источника питания и максимальным отключаемым током. По этой характеристике можно определить влияние изменения параметров дугогасительного устройства в стадии доводки на интегральные характеристики аппарата. Она позволяет сравнивать различные коммутационные устройства при одинаковых параметрах отключаемой нагрузки. Использование характеристики ВП дает возможность осуществлять неразрушающий контроль работоспособности изготавливаемых дугогасительных устройств в заводских условиях [1, стр. 224].

Теоретическое определение ВП вызывает большие затруднения и побуждает в расчетных формулах принимать полуэмпирические или эмпирические коэффициенты. Обычно только опытное исследование дает возможность получить надежные данные о ВП [1, стр. 223].

Экспериментально [1, стр. 225] было доказано, что наибольшей восстанавливающейся прочностью обладает дугогасительное устройство, изображенное на рис. 2. Для автоматического выключателя мною предлагается данное ДУ. Главным преимуществом является то, что его можно разместить ближе к лабиринтному выходу (выхлопной зоне), с точки зрения отвода продуктов горения дуги. Конструкция дугогасительной решетки, её расположение относительно контактной системы оказывают на коммутационную способность и, в частности, на восстанавливающуюся прочность большое влияние.[1, стр. 221].

Для интенсивности гашения дуги за счет ускорения вхождения её в решетку у подвижного и неподвижного контакта устанавливают дополнительные ферромагнитные скобы (рога), изолированные от контактов, а также предназначенные для увеличения числа частичных дуг, на которые делится дуга, образующаяся на контактах. Это существенно увеличивает восстанавливающуюся электрическую прочность такого дугогасительного устройства.

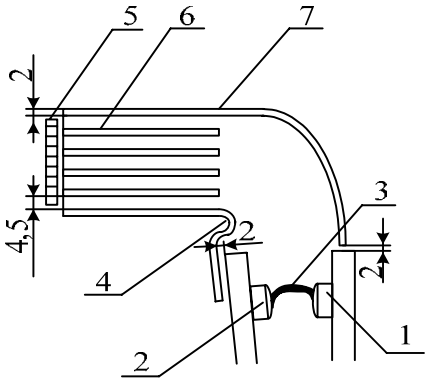
При размыкании контактов 1 и 2 в межконтактном промежутке, обхваченном ферромагнитной скобой 4, возникает дуга 3, которая под действием электродинамических сил собственного контура тока и силы взаимодействия дуги с внешним магнитным полем, созданной ферромагнитной скобой, всегда выталкивается из области сгущения магнитных силовых линий и одновременно

ферромагнитная скоба вытягивает дугу вверх, т. е. в сторону её удлинения. Дуга притягивается к наиболее билзкому участку скобы (как проводник к ферромагнитному телу) и делится на частичные последовательно горящие дуги.

Таким образом, металлические ферромагнитные скобы способствуют более быстрому сходу дуги с контактов, что ведет к уменьшению времени дуги, а следовательно к повышению коммутационной способности.[2, стр. 61].

Установка крайней отражательной пластины 6 под углом 135^0 к плоскости контактов создает улучшенные условия для гашения дуги, т.к образующиеся потоки плазмы отражаются в направлении решетки, а не в межконтактный промежуток.

При испытании, рассмотренных в [1, стр. 224] менялись число пластин дугогасительной решетки, расстояния между пластинами, толщины пластин, формы выреза в пластинах, материалы покрытия пластин.



1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт; 3 – электрическая дуга; 4 – ферромагнитная скоба; 5 – пламягасительная решетка; 6 – дугогасительная пластина; 7 – отражательная дугогасительная пластина

На основе этих экспериментов предлагается подвижный и неподвижный контакт выполнить из бронзы БРБ2 М-1 (ГОСТ 1789), т. к. обладает большей твердостью, а скоба для неподвижного контакта – из латуни Л634Т-2 (ГОСТ 931).

Контактные накладки КМК-А10М изготовлены из мелкодисперсной композиции серебро-окись кадмия (серебро – 85%, окись кадмия – 15%) размерами 6×6 мм и высотой 2,2 мм (из технологических соображений, т. к. сложно выполнить более тонкие пластинки).

Дугогасительные пластины изготовлены из стальной ленты 10КП-Н-НТ-2-0 (ГОСТ 503) толщиной $\Delta = 2\,\text{мм}$. Выбранная толщина пластины обуславливает увеличение электродинамического усилия, которое определяется по формуле:

$$F = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta \cdot n}{a},$$

где I – номинальный ток, *А;* Δ – толщина пластины, м*;* a – расстояние от пластин до дуги, м*;* n – число пластин.

Несмотря на то, что при $\Delta = 2\,\text{мм}$ увеличивается время, необходимое для разбиения столба дуги на ряд коротких дуг, улучшение характеристик гашения дуги обеспечивается охлаждающим действием решетки, повышающим градиенты напряженности в столбе дуги.

Согласно рекомендациям [1, стр. 224], пластины в необходимом количестве покрыты медью. Толщина покрытия – 9 мкм, т. к. эксперименты показали, что наилучшей коммутационной способностью обладают дугогасительные решетки с пластинами, покрытыми этим материалом [1, стр. 224]. Применение покрытий из никеля и цинка нецелесообразно, так как это увеличивает время дуги и уменьшает электрическую износостойкость контактов.

Расстояние между пластинами $\delta = 4,5\,\text{мм}$, число пластин $n = 5$, включая и отражательную пластину при номинальных токах больше 100А, высота расположения решетки относительно подвижного и неподвижного контакта $\Delta l = 2\,мм$.

Исходя из конструктивных и технологических соображений, рекомендуется форма выреза нижнего края пластин по варианту, изображенному на рис. 3 [1, стр. 224].

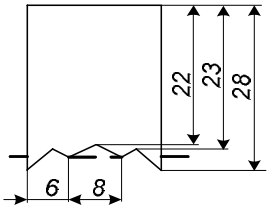


Рис. 3. Вариант формы выреза в дугогасительных пластинах

Список литературы

1. Егоров Е.Г. Испытания и исследование низковольтных коммутационных электрических аппаратов: учебник для вузов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2000. – 448 с.: ил.
2. Свинцов Г.П. Электромагнитные контакторы и пускатели: учебное пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та,1998. – 225 с.: ил.
3. Таев И. С. Электрические контакты и Дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения. – М., «Энергия», 1973. – 424 с.: ил.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ПАКЕТНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Иванова А.Г.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tosik_leo@mail.ru

Для проведения исследований с целью экспериментальной проверки положений, положенных в принцип работы моментного двигателя [1,2], была поставлена задача спроектировать и изготовить соответствующую установку. Основные требования к экспериментальной установке заключались в том, что она должна быть выполнена достаточно простой, требующей минимальный объем настроечных операций, должна быть изготовлена из доступных материалов и комплектующих изделий. Методика проведения исследований на этой установке должна быть предельно простой и безопасной для участников студенческой НИР. Основная задача, решаемая при проведении исследований, заключается в определении усилия, развиваемого при взаимодействии источника магнитного поля и тока, протекающего по пакетному элементу. Полученные результаты совместно с теоретическими выкладками должны показать путь дальнейших исследований с целью усовершенствования предложенного приема создания тягового усилия в исполнительном устройстве.

Характер изменения усилия в рабочем диапазоне взаимных перемещений источника магнитного поля и пакетного элемента в основном определяется поперечной компонентой тока, протекающего по пластинам последнего. В связи с этим в установке должна быть обеспечена возможность простой и быстрой замены пакетных элементов с различной конфигурацией пластин, составляющих пакеты. Учитывая то, что при изготовлении пакетного элемента, при отсутствии достаточно отработанной технологии, число пластин в пакете большим получить не удается, необходимое усилие на установке можно достичь при протекании по пластинам пакета достаточно большого тока (до 20 А). При этом встают задачи соответствующего выбора источника постоянного тока и разработки конструкции пакетного элемента, способного выдержать такие токи. Результаты решения последней задачи приведены в [3].

Основой экспериментальной установки является лист электроизоляционного материала, на котором крепятся все ее узлы (рис. 1). С целью упрощения конструкции подвеса подвижного источника магнитного поля применена схема с вертикальной осью, вокруг которой в шарикоподшипниках вращается штанга, на одном конце которой закреплен источник магнитного поля, а на другом – противовес, обеспечивающий отсутствие маятникового момента, способного внести искажения в результаты экспериментальных исследований.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Источник магнитного поля представляет собой набор постоянных магнитов из сплава ЮНДК35Т5 и элементов магнитопровода, выполненных из конструкционной стали. В зазоре магнитопровода, величиной 18 мм, в который должен помещаться пакет из алюминиевых пластин, создается индукция B=0,0375 Тл. Значение этой индукции измерено милливеберметром марки М119.

Пакетные элементы изготовлены из алюминиевой ленты толщиной 0,07 мм и бумажной изоляции. Толщина пакета зависит от количества в его составе пластин (слоев); при указанной выше величине воздушного зазора пакет может содержать до 60 пластин. Можно в зазор поместить и более толстый пакет, при этом необходимо в конструкцию источника магнитного поля добавить дополнительный постоянный магнит. Эксперимент показывает, что в этом случае индукция в зазоре уменьшается незначительно.

На основании установки смонтирован узел крепления пакетного элемента, помещаемого в воздушный зазор магнитопровода источника постоянного магнитного поля (рис. 2).

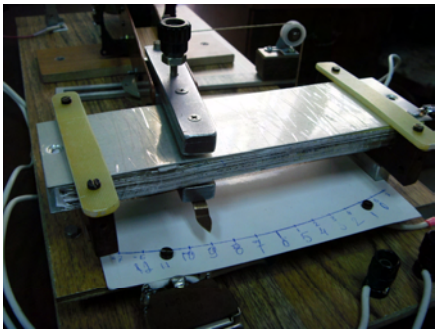


Рис. 2. Пакетный элемент в воздушном зазоре магнитопровода

Замена пакета производится достаточно легко и быстро за счет применения механических прижимов и электрических соединителей. На основании смонтированы также элементы коммутации и присоединения к электрической цепи.

Для задания необходимого взаимного положения источника магнитного поля и пакетного элемента имеются неподвижная шкала и указатель, закрепленный на штанге.

Механическая нагрузка прикладывается к подвижному элементу посредством тарированного груза на нити, соединяемой со штангой и проходящей по желобу ролика. Выставка необходимого взаимного расположения источника магнитного поля и пакетного элемента осуществляется при помощи регулируемого ограничителя, представляющего собой винт, вращаемый в неподвижно закрепленном на основании специальном кронштейне. Этот винт является также и элементом электрической цепи сигнализации, разрываемой в случае превышения исполнительным устройством усилия, развиваемого подвешенным на нити грузом.

Методика проведения исследований заключается в том, что предварительно с помощью регулируемого ограничителя выставляется необходимое взаимное расположение источника магнитного поля и неподвижного пакета. Это положение фиксируется при помощи шкалы. Затем на нити подвешивается необходимый груз, под действием которого штанга постоянно касается регулируемого ограничителя, обеспечивая электрическую цепь системы сигнализации, о чем свидетельствует постоянно горящий светодиод. После этого на пакет подается питание с регулируемого источника постоянного тока. В начальный момент времени ток должен быть минимальным и затем необходимо его постепенно увеличивать. При этом постоянно происходит наблюдение за шкалой амперметра и в момент погасания светодиода фиксируется значение тока.

Зная плечо, на котором действует сила веса груза и радиус центра поверхностей полюсов магнитопровода, можно определить усилие, развиваемое исполнительным элементом при данном значении тока.

На изготовленной установке были проведены некоторые экспериментальные исследования. Так, в частности определена зависимость развиваемого в некоторой точке пакета усилие и силы тока, протекаемого по пластинам пакета (рис. 3). Видно, что эта зависимость для данной установки практически линейна, что позволяет произвести пересчет усилия для конкретного заданного тока.

Был также проведен эксперимент по определению зависимости усилия, развиваемого исполнительным элементом, по длине пакета. В данном случае применялся пакет из 52 пластин, величина тока достигала 16 А. При этом полученные результаты были нормированы – приведены к току в 1 А и к одной пластине (рис. 4).

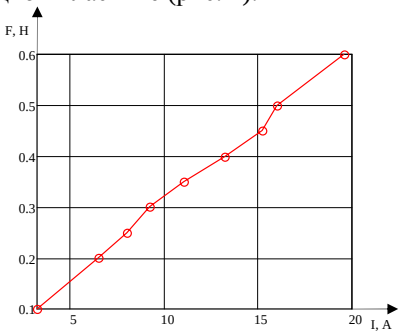


Рис. 3. Зависимость развиваемого усилия и силы тока

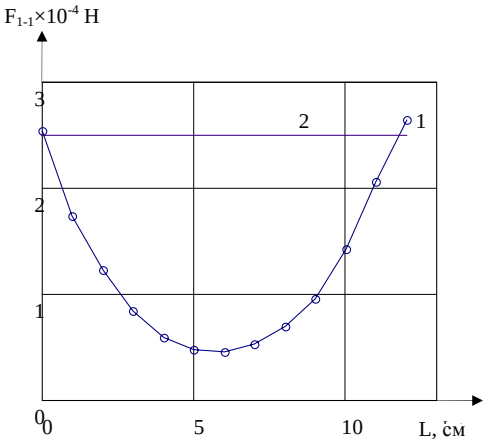


Рис. 4. Развиваемое усилие по длине пакета

На последнем рис. зависимость усилия, развиваемого исполнительным элементом, показана кривой 1. Необходимо учесть, что по краям пакета усилия могут иметь большие значения, так как в данной конструкции в этих точках происходит уменьшение взаимного перекрытия пакета и магнитопровода, а также проявляется влияние тока, протекающего по перемычкам, соединяемым пластины пакета. Прямая 2 на этом графике представляет собой зависимость усилия, которое могло быть создано единичным тонким проводником, расположенным по диагонали пакета и по которому протекает ток в 1 А.

Список литературы

1. Патент РФ № 2378755 Моментный двигатель. В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников, Е.Н. Горячок, А.В. Квадяева. Бюллетень изобретений № 1, 2010.
2. Дмитриева Е.М., Иванова А.Г., Костромин А.К. Определение характера протекания тока по пластине // Современные техника и технологии: Труды XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. Т. 1. С. 403–404.
3. Дмитриева Е.М., Иванова А.Г. Экспериментальное определение температурных характеристик пакетного элемента // См. настоящий сборник.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ким Ю.В., Киселев А.В., Цукублин А.Б.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kiselev_av@mail2000.ru

Имеющийся опыт разработки и эксплуатации забойных телеметрических систем со связью по электромагнитному каналу позволяет сформулировать требования к первичному источнику питания подобных систем. Эти требования следующие:

1. выходная мощность не менее 200 Вт;
2. наружный диаметр не более 60 мм
3. частота вращения ротора не более 3000 об/мин;

Данным требованиям соответствует трехфазный магнитоэлектрический турбогенератор с ротором на постоянных высококоэрцитивных магнитах и беспазовым статором, работающий на нагрузку через мостовой выпрямитель.

Условия эксплуатации данных забойных телеметрических систем достаточно сложные. Часто нагрузка на генератор носит нестационарный характер, например, формирование выходного тока после выпрямителя при помощи широтно-импульсного модулятора (ШИМ). Работа генератора на такую нагрузку сопровождается сложными переходными процессами, приводящими к перегрузке генератора и изменению формы выходного тока.

Серьезной проблемой стал частый выход из строя конденсатора в системе питания. Эта проблема может быть объяснена возникновением резонансных явлений в контуре «индуктивность генератора – конденсатор фильтра». Решением проблемы может стать снижение индуктивного сопротивления обмотки якоря.

Для беспазовых электрических машин выражение индуктивного сопротивления рассеяния обмотки якоря имеет следующий вид:

$$x_\sigma = 4\pi \cdot \mu_0 \cdot f \cdot \omega^2 \cdot \sum \lambda / (p \cdot q) \qquad (1)$$

Из выражения (1) следует, что уменьшение количества витков даст существенное снижение индуктивного сопротивления.

При этом, оптимизация параметров генератора не должна снизить его выходные показатели.

Известно, что ЭДС генератора

$$E_0 = 4 \cdot k_\phi \cdot k_{об} \cdot \omega \cdot f \cdot \Phi_{\delta 0} \qquad (2)$$

Из выражения (2) видно, что при сохранении ранее принятого числа полюсов и типа обмотки, уменьшение числа витков даст снижение электродвижущей силы. Для сохранения требуемой величины ЭДС, необходимо повысить значение магнитного потока. Последнее может быть выполнено за счет увеличения проводимости отдельных частей магнитопровода. Определение загрузки магнитопровода проводилось посредством расчета магнитного поля с использованием программного продукта ELCUT 4.2.

Моделирование магнитного поля в используемой конструкции, выявило высокие значения магнитной индукции в магнитопроводе якоря (рис. 1).

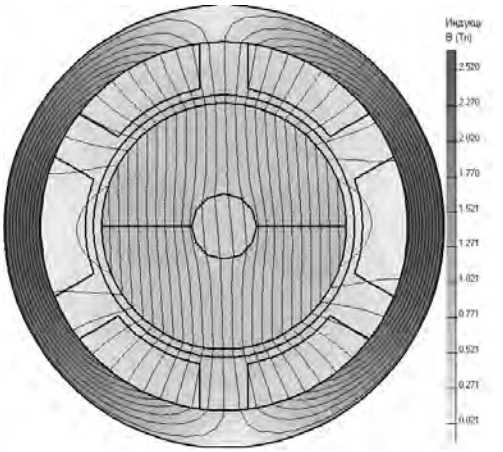


Рис. 1. Распределение магнитного поля в исходном варианте генератора

Учитывая предъявляемые требования к данным генераторам, в первую очередь жестко заданные габаритные размеры (внешний диаметр статора 54 мм, аксиальная длина 140 мм), была проведена оптимизация внутренних размеров магнитопровода. Оптимизация велась при постоянстве выходного значения ЭДС генератора, а также при ограничении величины коэффициента заполнения обмотки якоря, которая не должна превышать значения $k_з$= 0,75 и сохранении размеров сечения обмоточного провода.

Решение этой проблемы возможно путем увеличения толщины ярма магнитопровода за счет снижения его внутреннего диаметра. Уменьшение воздушного зазора и снижение магнитной индукции в ярме приводит к увеличению проводимости магнитопровода и увеличению магнитного потока при постоянных размерах ротора. Это приводит к снижению количества витков в фазе, и как следствие, к снижению индуктивности обмотки. Конструкция с увеличенной высотой магнитопровода представлена на рис. 2. Толщина ярма была увеличена с 45 мм до 65 мм. Снижение индуктивности составило 10 % .

Дальнейшее увеличение толщины ярма (снижение величины магнитной индукции в нем) не приводит к заметному изменению магнитного потока, поскольку проводимость ярма остается практически постоянной.

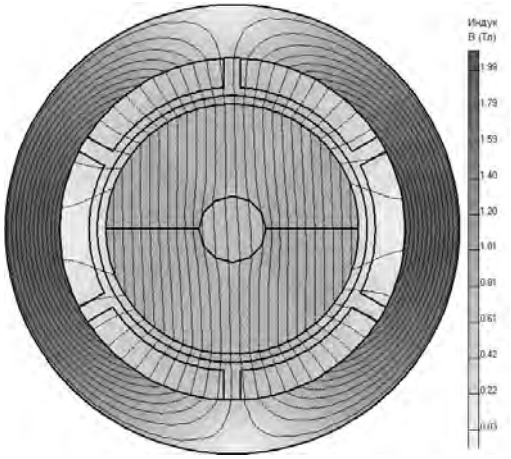


Рис. 2. Распределение магнитного поля в магнитопроводе с увеличенной высотой

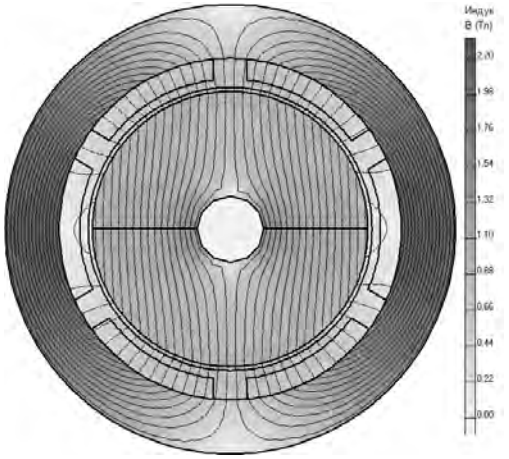


Рис. 3. Распределение магнитного поля в магнитопроводе с магнитом увеличенного диаметра

Поэтому дальнейшее решение поставленной задачи возможно увеличением размеров магнита ротора. Здесь, увеличение диаметра магнита ротора с 30 мм. до 33 мм. позволило уменьшить количество витков в фазе до 22, что обеспечило снижение индуктивного сопротивления рассеяния на 15 % по сравнению с исходным вариантом. Величина выходного напряжения при этом осталась на требуемом уровне. Магнитное поле для данного варианта представлена на рис. 3.

Результаты выполненной оптимизации сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения индуктивности рассеяния фазы генератора

Число витков, n	Коэффициент заполнения обмотки, k	Индуктивность, L (Гн)
28	0,57	0,0000438
26	0,67	0,0000398
22	0,75	0,0000318

Из рассмотренных вариантов первый вариант является более предпочтительным, так как не предполагает изменение магнитов – покупного изделия, поставляемого по специальному заказу.

Анализ полученных результатов показал, что в машине с числом полюсов 2p=2 уменьшение проводимости рассеяния обмоток статора, путем оптимизации размеров магнитопровода, возможно лишь в пределах (15–17) %.

Список литературы

1. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.: ил.
2. А.Н. Ледовский. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.; ил.
3. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сборник статей / под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 350 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ. СИНТЕЗ НЕЙРОЭМУЛЯТОРА ФИЛЬТРА НИЗКИХ ЧАСТОТ

Козлова Л.Е.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: kozlovale@tpu.ru

В последнее время все большее внимание уделяется искусственным нейронным сетям (ИНС). ИНС может решать такие задачи как оптимизация, фильтрация, идентификация динамических систем и управление ими, аппроксимация функций, предсказание (прогноз) и т. д.

Целью исследования является синтез нейроэмулятора фильтра низких частот (ФНЧ) RL–цепочку, определение параметров и обучение ИНС, проверка правильности работы нейроэмулятора.

При построении ИНС были определены виды входных сигналов сети, количество нейронов в скрытом слое, методика обучения сети и ее структура. Выходным сигналом сети являлся ток, протекающий через RL – цепочку.

Составление тренировочной выборки проводилось в программе Mathcad путем аналитического моделирования ФНЧ. Параметрами и входным сигналом ФНЧ являлись: $R = 1 Ом$, $L = 0.001 Гн$, $U_{вх} = \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t)\, B$. При обучении нейронной

сети использовались тренировочные наборы по току и напряжению, в количестве 200 выборок. В качестве входных параметров использовались выборки по входному напряжению и их задержка на один период дискретизации $\Delta t = 2 \cdot 10^{-4}$ c, выходным тренировочным набором являются выборки тока, протекающего через RL – цепочку.

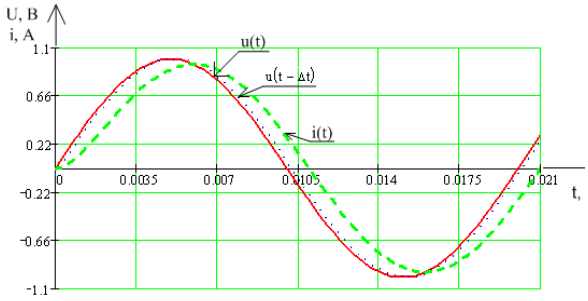


Рис. 1. Данные тренировочного набора за один период

На рис. 1 представлен тренировочный набор по току и напряжению, необходимый при обучении сети. Таким образом была составлена ИНС прямой передачи с двумя слоями вида 2–10–1. На рис. 2 представлена структурная схема ИНС.

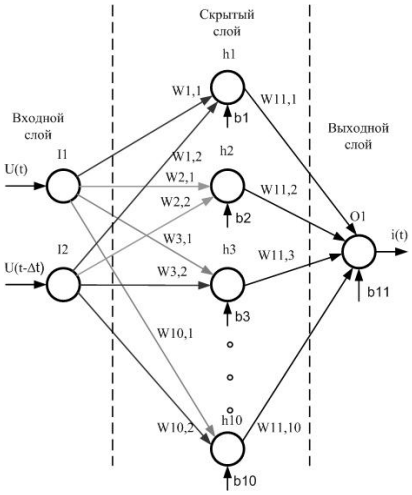


Рис. 2. Структурная схема ИНС (2 – 10 – 1)

Нейронная сеть моделировалась и обучалась в программе Matlab 7.1/Simulink. Архитектура нейронной сети: двухслойная сеть с прямой передачей сигнала; первый слой – 10 нейронов с функцией активации logsig; второй слой – 1 нейрон с функцией активации purelin; диапазон изменения входа [–1 1; –1 1]. Обучение ИНС производится по алгоритму Левенберга – Марквардта:

net=newff([–1 1;–1 1], [10 1], {'logsig', 'purelin'}, 'trainlm').

Сигмоидальная функция активации logsig вычисляется по формуле:

$$f(n) = \frac{1}{1+e^{-n}},$$

где n – аргумент функции активации.

Линейная функция активации purelin вычисляется по формуле:

$$f(n) = n.$$

Установленные параметры обучающей процедуры:

```
>> net.trainParam.epochs=100;
>> net.trainParam.show=5;
>> net.trainParam.goal=0.001;
>> [net,tr]=train(net,U1,i);
>> gensim(net)
```

На рис. 3 представлен график изменения ошибки обучения в зависимости от числа выполненных циклов обучения.

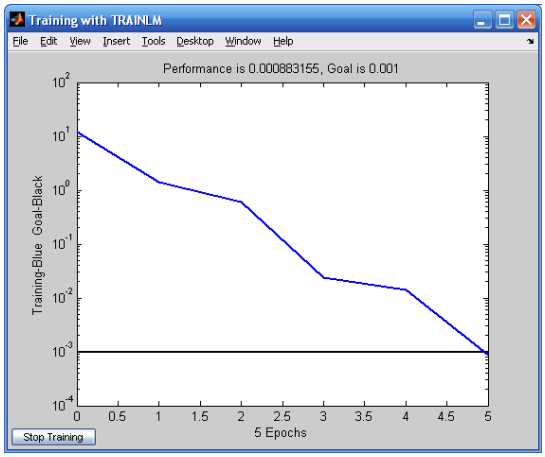


Рис. 3. График изменения ошибки обучения в зависимости от числа выполненных циклов обучения

Как видно из рис. 3 для обучения ИНС потребуется всего 5 циклов. Этот алгоритм обучения является самым быстродействующим и используется для обучения больших нейронных сетей с несколькими сотнями настраиваемых параметров.

Структурная схема ИНС, реализованная в среде Matlab 7.1/Simulink, представлена на рис. 4.

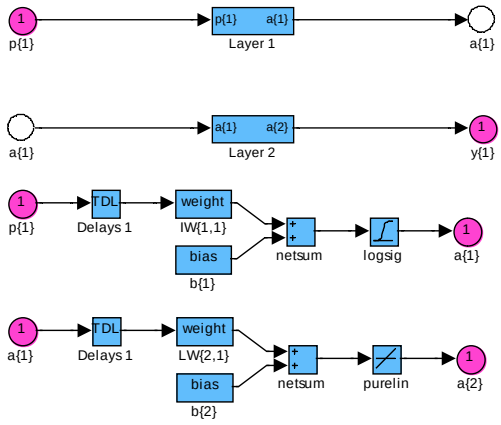


Рис. 4

При обучении ИНС сформировались веса и смещения, характеризующие обучение сети. Проверка работоспособности проводилась в программе Mathcad, результаты которой представлены на рис. 5 и 6. На рис. 5 приведены кривые тока по тре-

нировочному набору i_{TH} и ток, реализуемый ИНС после обучения, $i_{ИНС}$. Величина ошибки меньше 2 %, за исключением точек перехода кривой через 0. В этих точках погрешность возрастает до 61 %.

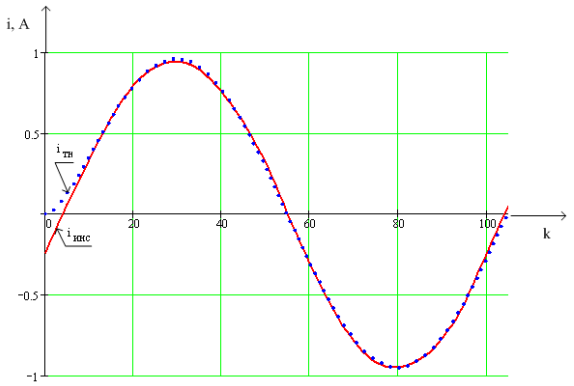


Рис. 5. Сравнительная характеристика

В результате проведения исследований можно сделать вывод, что ИНС удовлетворительно моделирует работу RL – цепочки при гармоническом входном сигнале.

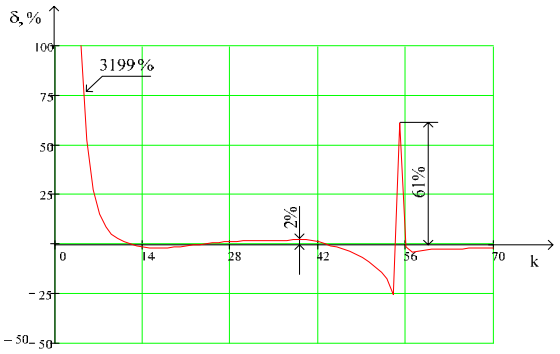


Рис. 6. Кривая ошибки обучения ИНС

Список литературы

1. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети: Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с. : ил. – Библиогр.: с. 377–378. – Глоссарий: с. 356–376.
2. Хайкин, Саймон. Нейронные сети : полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд., испр. – М. [и др.]: Вильямс, 2006. – 1103 с.
3. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / под общ. ред. к. т. н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 496 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Компанеец А.В., Пивченко В.П., Тестов Н.В.

Научный руководитель: Рапопорт О.Л. к т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rubej@sibmail.com

Испытания электрических машин на электромашиностроительных заводах являются частью общего технологического процесса.

На рынке испытательные станции и стенды представлены рядом производителей, таких как, ООО «Дивитай», ОАО «Севкавэлектроремонт», НПП «РЭР», НПП «Электромаш». Все представлены этими фирмами станции перекрывают диапазон по напряжения от 220В до 660В, частотой 50 Гц, и мощностью от 0,12 кВт до 150 кВт. В основном станции спроектированы для приемосдаточных испытаний, либо испытаний с небольшим набором снимаемых параметров с испытуемого двигателя. Во всех случаях представленные станции снабжены ЭВМ.

Таким образом, рассмотрев предложенные испытательные станции на российском рынке, видим, что станций для периодических испытаний с заложенными алгоритмами построения статических характеристик нет. Из этого вытекает необходимость проектирования таких станций и усовершенствование методов снятия характеристик и других параметров в соответствии с ГОСТ 7217 при автоматизированных периодических испытаниях асинхронных электродвигателей.

В основу разрабатываемой испытательной станции был положен диапазон мощностей испытуемых двигателей 30… 110 кВт. В состав испытательной станции входит: источник трехфазного напряжения с возможностью плавного регулирования напряжения в диапазоне 0–860 В, нагрузочная машина, датчики снятия момента, скорости вращения, напряжения и тока, аппараты коммутации и защиты, нагрузочные элементы, ЭВМ и ПО. Потенциал-регулятор понижает напряжение при проведение опытов холостого хода и короткого замыкания. Для испытания асинхронного двигателя с фазным ротором, его снабжают пусковыми сопротивлениями, за счет которых двигатель выходит на естественную характеристику. В качестве нагрузочного двигателя используется машина постоянного тока, к якорю которой подключаются реостат. Реостат применяться только для машин не более 50 кВт, для мощных двигателей в качестве нагрузочной машины используется балансирная машина. Относительно коммутационной аппаратуры, на испытательной станции установлены контакторы соответствующие своим токам уставки для каждого диапазона мощностей двигателей, выбранные по представленным токам в табл. 1.

Снятие механических и рабочих характеристик производят в процессе разгона асинхронного двигателя. При этом сопротивление обмоток соответствует установившейся температуре, полученной при испытании на нагревание. Эта температура достигается автоматически в режиме короткого замыкания. Для проведения опыта холостого хода электродвигатель отсоединяют от маховых масс.

Испытательная станция позволяет снимать характеристики холостого хода, короткого замыкания, механические и рабочие. Для реализации автоматического снятия данных характеристик и расчета в ПК нам необходимо измерение следующих параметров: тока в фазах статора и ротора двигателя, подаваемого напряжения, скорости вращения. Расчетные параметры некоторых двигателей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры асинхронных двигателей 30, 55, 110 кВт

Параметры двигателя	P_2= 30 кВт	P_2= 55 кВт	P_2= 110 кВт
$r_{1,}$ Ом	0,355	0,073	0,072
$r'_{2,}$ Ом	0,186	0,09	0,087
$x_{1,}$ Ом	0,673	0,353	0,055
$x'_{2,}$ Ом	0,912	1,112	0,47
R, Ом	8,51	2,19	2,79
X, Ом	1,65	0,559	0,863
Z, Ом	8,67	2,41	2,92
$I»_2$, А	61,37	91,44	130,1
$I_{1н,}$ А	57,43	90,61	125,2
$I_{XX,}$ А	9,95	22,109	30,2

Для реализации автоматизированного управления процессом испытаний необходимо решить несколько задач. Выходной управляющий сигнал с ЭВМ необходимо подать на модуль дискретного вывода. Напряжение выходного сигнала дискретного модуля составляет 24 В и этой величины напряжения не достаточно для управления силовой автоматикой. Например, напряжение катушек управления контакторов серии КМИ составляет 230 В. Поэтому необходимо применение промежуточных реле. Одним из вариантов, представленных на Российском рынке, является промежуточное реле РЭК77, номинальное напряжение катушки управления 24В, номинальное напряжение контактов 230 В.

Алгоритм работы станции и алгоритм снятия параметров рассмотрим на примере опыта короткого замыкания. Опыт короткого замыкания следует выполнять при заторможенном роторе. В процессе опыта одновременно измеряют линейные напряжения, линейные токи, подводимую мощность. Для непосредственного измерения параметров целесообразно использовать датчики, которые измеряемые величины преобразуют в пропорциональный сигнал токового интерфейса 0–20 мА или 4–20 мА, гальванически изолированного от измерительных цепей, без разрыва токовой шины. Таким параметрам отвечает датчик тока LF-500F, с диапазоном измерения от 0 до 800 А, коэффициентом преобразования 1:5000, датчик напряжения LV25-P/SP5 с коэффициентом преобразования 2500:1000 и стационарный датчик мощности ДИМ. Получаемый токовый сигнал является стандартным и аналоговым. Поэтому для передачи на ЭВМ аналоговый сигнал с датчиков преобразуется в цифровой с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), и уже в цифровом виде по средствам интерфейса цифровой код передаётся для обработки в ЭВМ.

Опыт короткого замыкания следует начинать в практически холодном состоянии машины или после опыта холостого хода. Двигатель включают на напряжение, при Uн=380В, Uкз=100В(данные значения даны в ГОСТ 7217-87). Для установки необходимого напряжения на привод потенциалрегулятора (ПР) необходимо подать напряжение, для изменения положения ротора ПР в сторону понижения напряжения, установить интервал времени получения данных с датчика напряжения 1с, с условием, при достижение необходимой величины ±5% отключить питание с привода ПР посредствам каналов управления станцией. Второй отсчет проводят при напряжении (100 10) % номинального для двигателей мощностью до 100 кВт ($f_н$ = 50 Гц) и не менее 40 % номинального для двигателей мощностью свыше 100 кВт. Напряжение повышается дискретно, на величины согласно рекомендациям ГОСТ-7217, при повышении необходимо проделывать те же шаги, что и при установке начального значения, до заданных величин. На каждой точке при приеме данных с датчиков выдерживать не менее 3с, до завершения переходных процессов для исключения погрешностей в показаниях. После завершения опыта отключить питание с испытуемого двигатель, при подаче соответствующей команды на разрыв цепи питания.

Применение методов диагностики требует определенных преобразований принятого сигнала. Сигнал, принятый от контролируемого изделия, необходимо преобразовать в электронную форму с помощью датчиков, записать аналоговый сигнал в цифровой код, воспроизвести сигнал в виде амплитудно-временной зависимости. Программное обеспечение станции основано на использовании системы LabVIEW.

При разработке программного обеспечения для испытаний можно выделить этапы сбора данных и обработки данных.

Процесс измерения электрических сигналов и ввод их в компьютер для обработки называется сбором данных. Динамические сигналы требуют использовать устройства с большой разрешающей способностью и большим динамическим диапазо-

ном оцифровки. Универсальное устройство компании National Instruments USB-6009 запитывается по шине USB, объединяет в себе все основные функции необходимые для работы в приложениях сбора и сохранения данных.

USB-6009 имеет четыре цифровых вывода и 24-битных каналов аналогового ввода которые обрабатывают входной сигнал 20 кГц.

Структурно можно разделить данный прибор на несколько частей:

- запись данных в файл;
- сбор данных для записи;
- контроль текущего значения сигнала.

Обработка полученных при измерениях данных предполагает в итоге построение характеристик (холостого хода, короткого замыкания, механической и рабочей). Пример работы программы. Подаем напряжения на генератор. После реостатного запуска асинхронного испытуемого двигателя автоматика подает сигнал, на нагрузочные элементы генератора постоянного тока и тем самым создаем тормозной момент на испытуемом двигателе. Частота вращения автоматически заносится в ПК через АЦП с датчика встроенного в муфту типа ТМ 314 – 317. Также в компьютер через АЦП автоматически заносятся фазные токи и линейные напряжения.

Испытания по предложенной схеме АД дает точность, объективность испытаний.

Испытания по предложенной схеме АД дает точность и объективность испытаний.

Список литературы

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Котельнец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. – М.: Академия, 2003.
3. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. – М.: Высш. шк., 2000.
4. ГОСТ 183-74 (СТ СЭВ 1346-78) Госкомитет СССР по стандартам. – М.: 1974.

СОВРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кузнецов С.А.

Научный руководитель: Игнатович В. М., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kuznetsow_sa@mail.ru

Расчет внутренней изоляции силовых трансформаторов представляет собой сопоставление расчетных воздействий с допустимыми значениями напряженности электрического поля. В процессе проектирования уровень расчетных воздействий определяют с помощью специализированного программного обеспечения, а допустимые значения – по методикам, основанным на экспериментальном исследовании электрической прочности изоляции.

В работе проанализировано современное состояние систем проектирования изоляции как с точки зрения методического обеспечения, так и программного, с целью выбрать оптимальную систему проектирования для конкретных задач. Отражено современное состояние проблемы расчета продольной изоляции. Ряд задач, описанных в статье, автор планирует решить в процессе работы над магистерской диссертацией.

Внутреннюю изоляцию силовых трансформаторов можно условно классифицировать следующим образом: главная изоляция обмоток; изоляция снаружи обмоток до бака; продольная изоляция обмоток; изоляция отводов; изоляция установки ввода. К настоящему времени для каждого из перечисленных видов изоляции разработаны методики оценки электрической прочности, при использовании которых расчет внутренней изоляции заключается в сопоставлении расчетных воздействий с допустимыми значениями.

Проектирование изоляции включает в себя множество итерационных расчетов и представляет собой весьма трудоемкий и времязатратный процесс. Поэтому не менее важными вопросами при выборе систем проектирования являются наличие необходимый функциональных возможностей, обеспечение высокой точности расчётов и максимальное облегчение работы.

Расчет главной изоляции обмоток. Оценка допустимых воздействий

Главная изоляция обмоток (изоляция между обмотками, между обмотками и ярмом, между соседними фазами) для трансформаторов выполняется в виде маслобарьерной изоляции. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что пробой этой изоляции при воздействии переменного напряжения начинается с пробоя наиболее нагруженного масляного канала, которым зачастую является первый масляный канал между обмоткой и ближайшим к ней барьером [1].

Для маслобарьерной изоляции имеет место ярко выраженный «эффект ширины», т. е. с ростом ширины масляного канала средняя пробивная на пряженность уменьшается. При этом зависи-

мость минимальной пробивной напряженности $E_{пр.мин}$ от ширины канала *d*, под которой понимается длина силовой линии в масляном канале, может быть выражена эмпирическими формулами следующих видов [2–4]:

$$E_{пр.мин}(d) = A \cdot d^{-m} \quad (1)$$

$$E_{пр.мин}(d) = B + C / \sqrt{d} \quad (2),$$

где A, B, C – постоянные коэффициенты.

В свою очередь значения допустимой напряженности выбираются по минимальной пробивной напряженности с учетом поправочного коэффициента (0.8–0.9).

На сегодняшний день для определения допустимых напряженностей и оценки электрической прочности маслобарьерной изоляции используются следующие методики:

• методика Weidmann и, так называемые Weidmann Design Curves [2], широко применяемые на зарубежных трансформаторных заводах и использующие аппроксимацию $E_{пр.мин}$ вида (1);

• РТМ 16.800.853-81 [5] и его дальнейшее развитие в виде методики ОАО «ВИТ», использующие аппроксимацию $E_{пр.мин}$ вида (1);

• методика ВЭИ [3], базирующаяся на результатах Панова А.В. и Морозовой Т.И. и использующая аппроксимацию $E_{пр.мин}$ вида (2).

В целом, используемые в этих методиках зависимости $E_{пр.мин}(d)$, соответствующие одноминутному испытательному напряжению промышленной частоты (ОПЧ), дают близкие результаты для типовых значений ширины масляных каналов. Но, несмотря на это, в итоговых результатах оценки прочности при использовании этих методик имеют место расхождения.

Расчет воздействий на главную изоляцию состоит в расчете электрических полей в моделях края и середины обмоток, построении силовых линий и определении средних по длине силовых линий напряженностей. Для расчета электрического поля в главной изоляции можно воспользоваться различными численными методами, но наиболее эффективным является применение метода конечных элементов (МКЭ) по следующим причинам:

• МКЭ обладает высокой точностью расчета распределения потенциалов и средней напряженности в масляных каналах;

• отсутствие ограничений на геометрию решаемой задачи;

• благодаря наличию сетки конечных элементов значительно упрощается построение силовых линий и напряженного объема масла, а значит и вычисление допустимых и воздействующих на изоляцию напряженностей.

При проведении расчетов главной изоляции важным является применение точных расчетных моделей электрического поля с погрешностью не более 5%. Исследования показали, что допустимо в модели главной изоляции представить только расчетные катушки, вблизи которых требуется определить электрическую прочность масляных каналов, а также дополнительно 1–2 катушки, расположенных рядом с расчетными, при этом сечение остальной части обмотки представить прямоугольником с линейным распределением потенциала по вертикальным его сторонам.

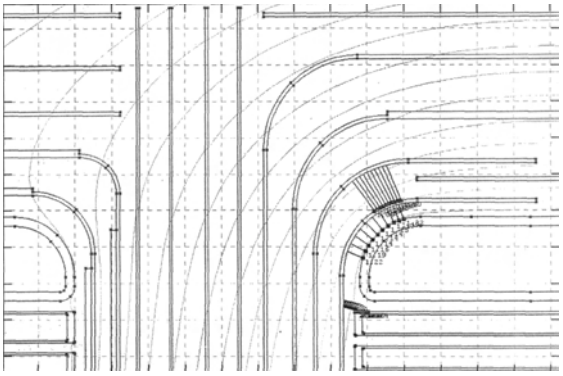


Рис. 1. Эскиз концевой изоляции, эквипотенциальные линии и наиболее напряженные силовые линии для ключевых областей

Отдельное место занимает расчет главной изоляции при воздействии грозового импульса, когда при наличии больших градиентов напряжения между соседними катушками неучет реального распределения напряжения по обмоткам может привести к серьезным ошибкам и заниженным результатам в оценке воздействующих напряженностей. Таким образом, необходим расчёт импульсных переходных процессов в обмотках.

Для упрощения работы проектировщика и глубокой автоматизации расчета главной изоляции важным является также решение следующих вопросов:

1. Упрощение процесса создания расчетных моделей главной изоляции.

2. Определение значений потенциалов («граничных условий») отдельных частей обмоток, соответствующих различным видам высоковольтных испытаний.

3. Автоматизация оценки прочности в части построения силовых линий, вычисления воздействующих и допустимых напряженностей и коэффициентов запаса.

4. Систематизация опыта проектировщиков и расчетчиков относительно выбора расчётных областей.

5. Обобщение рекомендаций по созданию расчетных моделей.

6. Решение проблем с параметризацией геометрии элементов главной изоляции (цилиндров, угловых и ярмовых шайб), т. к. на практике может иметь место сложное их сопряжение и их комбинация.

Расчет изоляции снаружи обмоток на практике в ряде случаев предусматривает использова-

ние тех же зависимостей, что и для главной изоляции обмоток. Снаружи обмоток масляные промежутки в длину могут достигать сотен миллиметров, в то время как с ростом длины промежутка пробивные напряженности снижаются. Кроме того, в промежутке «обмотка-бак» имеют место локальные неоднородности (диэлектрические шпильки и другие элементы крепления), которые приводят к искажению поля и дополнительному снижению прочности изоляции. Все это необходимо учитывать при выборе допустимых напряженностей масляных промежутков изоляции снаружи обмоток.

Сложность расчета изоляции снаружи обмоток также связана со сложностью геометрии этой области, электрическое поле в общем случае является трехмерным. При этом не всегда возможно свести все к расчету двухмерного поля, и в ряде случаев необходим расчет именно трехмерных полей.

Заключение

• Для совершенствования методики расчета главной изоляции необходимо сопоставление результатов расчета с результатами испытаний изоляции трансформаторов;

• Для упрощения расчета главной изоляции при воздействии грозовых импульсов актуальным является сопряжение программ расчета главной изоляции и импульсных перенапряжений в обмотках трансформаторов;

• Решение вопросов, поднятых в статье автор планирует решать с помощью программ ELCUT и ANSYS, т. к. необходимым условием для расчёта изоляции снаружи обмоток является применение программ, позволяющих рассчитывать трёхмерные поля.

Список литературы

4. Лоханин А.К., Ларин В.С., Матвеев Д.А. Состояние и проблемы развития систем проектирования внутренней изоляции трансформаторного оборудования // V Международная конференция «Силовые трансформаторы и системы диагностики». Москва, 2009.
5. Moser H.P., Transformerboard, Scientia Electrica, 1979. – 121 p.
6. РТМ 16.800.853-81. Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110–750 кВ. Методика расчета изоляции между обмотками, 1981.
7. Силовые трансформаторы. Справочная книга / под. ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат, 2004. – С. 133–150.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ЛИФТОВ

Куминов С.А.

Научный руководитель Баклин В.С. , к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: sergunyaa87@mail.ru

Внедрению частотно-регулируемого электропривода подъемного устройства лифта уделяется большое внимание. Актуальность частотно-регулируемого электропривода подъемного устройства лифта очевидна: повышается комфортность (плавность) трогания, движения и останова кабины; обеспечивается бесшумность и высокая точность останова; увеличивается долговечность механического оборудования; снижается расход электроэнергии [1, 2].

АД с короткозамкнутым ротором, используемые в частотно-регулируемом электроприводе, называются частотно-регулируемыми асинхронными двигателями (ЧРАД). В качестве ЧРАД возможно использование серийных не регулируемых АД с короткозамкнутым ротором общего или специального назначения, АД, созданных на базе железа серийных не регулируемых АД, и узкоспециализированных ЧРАД.

При частотном регулировании снимаются ограничения по кратностям пускового тока. Это дает возможность спроектировать ЧРАД с минимально возможными активными и индуктивными сопротивлениями обмоток статора и ротора.

Ведутся разработки частотно-регулируемых асинхронных двигателей для лифтового хозяйства, причем особое внимание уделяется низкооборотным асинхронным двигателям, позволяющим или уменьшить передаточное число редуктора, или полностью исключить его из элементов привода лифта.

Для лифтового хозяйства имеется потребность в частотно-регулируемых асинхронных двигателях с нагрузочными моментами 200, 250 и 290 Н×м при номинальной частоте вращения 115–120 об/мин, при высоте оси вращения $h \le 200$ мм. То есть при выборе базового двигателя для частотно-регулируемого привода лифта исходными данными являются частота вращения 115–120об/мин., нагрузочный момент 290 Н×м и высота оси вращения двигателям 200 мм. Остальные двигатели на 200 и 250 Н×м могут быть получены за счет уменьшения длины базового двигателя.

Базовый ЧРАД может быть спроектирован на любое фазное напряжение с любым числом полюсов 2p = 4, 6, 8, 10. Задачами проектирования являлся поиск номинального напряжения и числа полюсов, обеспечивающих наиболее высокие энергетические показатели и перегрузочную способность базового двигателя.

Выбор номинального напряжения двигателя

Чем меньше напряжение, тем меньше толщина пазовой изоляции, больше меди в пазах статора, а, следовательно, выше КПД и перегрузочная способность двигателя. Минимальная толщина пазовой изоляции ограничивается 0,25 – 0,3 мм. При минимальной толщине пазовой изоляции максимальное напряжение двигателя не должно превышать 380 В линейного или 220 В фазного.

Для проектируемого двигателя номинальное напряжение $U_{нф} = 205$ В.

Это позволяет в случае необходимости компенсации падения напряжения на активном сопротивлении обмотки статора при низких частотах увеличить фазное напряжение двигателя до 220 В и, тем самым, повысить перегрузочную способность двигателя.

Были проведены электромагнитные расчеты двигателей при номинальном фазном напряжении 205 В и с числами полюсов 2p = 4, 6, 8, 10. Все эти двигатели имеют внешний диаметр статора D_a =0,324 мм и активную длину сердечников статора l_1 = 0,45 м. Внутренний диаметр расточки статора четырехполюсной машины D = 0,215 мм, а внутренний диаметр двигателей с числами полюсов 2p=6, 8, 10 составляет D = 0,240 мм.

Согласно техническому заданию ЧРАД при частоте вращения 115–120 об/мин должны обеспечивать момент на валу двигателя 290 Н×м.

Результаты электромагнитных расчетов представлены в табл. 1.

Проведенные расчеты показали, что спроектированные двигатели (табл. 1) соответствуют техническому заданию и при одинаковой частоте вращения обеспечивают заданный 290 Н×м момент на валу двигателя. С точки зрения энергетических и технологических показателей оптимальным является двигатель с числом полюсов 2p=6. При этом КПД двигателя составляет 0,68 о.е., коэффициент мощности 0,75.

Согласно техническому заданию необходимо на железе шести полюсного базового двигателя спроектировать двигатели на 200 и 250 Н×м.

Рассмотрены два варианта – использование базового двигателя (табл. 2) и уменьшение длины железа статора базового двигателя соответственно нагрузкам 200 и 250 Н×м (табл. 3).

Таблица 1

Расчетные данные частотно-регулируемых двигателей

Число полюсов	Фазное напряжение, В	Нагрузочный момент, Н×м	f1, Гц	Sном	КПД	Cos φ	Iном, А	Масса меди, кг
2p=4	205	290	4,85	0,1675	0,6751	0,842	10,53	48,3
2p=6			7	0,1235	0,6811	0,752	11,84	45,129
2p=8			9	0,111	0,6508	0,663	13,7	41,76
2p=10			11,5	0,1175	0,601	0,625	16,1	40,41

Таблица 2

Число полюсов	Длина магнитопровода, м	Нагрузочный момент, Н×м	КПД	Cos φ	Iном, А
2p=6	0,45	290	0,6811	0,7526	11,84
		250	0,7011	0,7014	10,8
		200	0,7113	0,6322	9,8

Таблица 3

Число полюсов	Длина магнитопровода, м	Нагрузочный момент, Н×м	КПД	Cos φ	Iном, А
2p=6	0,45	290	0,6811	0,7526	11,84
	0,4	250	0,6599	0,7824	9,83
	0,32	200	0,6438	0,7651	8,29

Выводы

1. Оптимальным низкооборотным асинхронным двигателем для частотно-регулируемого привода лифта выбран двигатель с числом полюсов 2p=6. Он имеет более высокие энергетические показатели по сравнению с двигателями с другими числами полюсов. Двигатель с числом полюсов 2p=6 принят за базовый.

2. Уменьшение длины железа статора базового двигателя соответственно нагрузкам 200 и 250 Н×м приводит к уменьшению их КПД. Однако это решение хотя и позволяет улучшить массогабаритные показатели двигателей и снизить их стоимость, но сопровождается снижением КПД, повышением нагрева двигателей по сравнению с базовым двигателем.

3. С уменьшением нагрузочного момента на валу базового двигателя с 290 до 250 и 200 Н×м, его энергетические показатели улучшаются, в частности, коэффициент полезного действия. В лифтовом хозяйстве может оказаться целесообразным применение базового двигателя при работе с нагрузочными моментами, как 290, так и 200 и 250 Н×м.

Список литературы

1. Макаров Л.Н. Современный электропривод скоростных лифтов повышенной комфортности // Электротехника. 2006. №6. С. 42–46.
2. Афонин В.И., Балабанов И.Н. Регулируемый электропривод лифтов с асинхронными электродвигателями // Электротехника. 2006. № 6. С. 37–42.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОЛЯРИЗОВАННОГО

Кушнарев Д.А.

Научный руководитель: Копылов Ю.В., д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kushnarev_D@sibmail.com

В настоящее время электрическая энергия присутствует во всех отраслях человеческой деятельности, в промышленности, в народном хозяйстве, в быту.

В разных отраслях промышленности и народном хозяйстве очень часто применяется различного вида оборудование, которое нуждается в управление. Управление осуществляется с помощью различного рода электрических аппаратов.

Электрические аппараты являются одним из самых основных средств электрификации и автоматизации производства и технологических процессов. Электрические аппараты – это устройства, которые предназначены для включения и отключения электрических нагрузок, для стабилизации, регулирования и управления режимами работы электрооборудования. К выполняемым ими функциям относится также защита электроустановок от ненормальных аварийных режимов (коротких замыканий, перегрузок и др.).

Выбор конструкции, принципа действия электрического аппарата определяют условия выполнения им функций. При этом должны быть учтены: ток, напряжение, индуктивность электрической цепи, частота коммутаций и т. д., влияние которых рассмотрено в теории коммутации [1] и методах испытаний [2, 3].

Повсеместное применение в народном хозяйстве контактная коммутационная аппаратура находит за счет того, что эти аппараты имеют большие значения глубины коммутации и создают видимый разрыв в электрической цепи. При коммутации электрической цепи возникают электрические разряды, в т.ч. электрическая дуга; которые приводят к значительному износу не только электрических контактов, но и других частей дугогасительного устройства, что снижает электрическую (коммутационную) износостойкость аппарата.

Одной из особенностей современных контакторов и магнитных пускателей является их совместная работа с устройствами микроэлектронной и микропроцессорной техники. Устанавливаются они не только в цехах различного рода заводов, но и на самолетах и подводных лодках. Поэтому они должны обеспечивать надежную коммутацию электрических цепей.

К современным коммутационным аппаратам применяются очень высокие требования к механической износостойкости. Наряду с этим контакторы должны иметь малую массу и габариты. До минимума должен быть сведён уход за аппаратами в процессе эксплуатации.

Взяв во внимание все выше перечисленные требования к коммутационным аппаратам, было принято решение модернизировать контактор постоянного тока, поляризованный КНП – 153, производства Научно – производственного центра «ПОЛЮС». Данный контактор предназначен для коммутации, на подводных лодках, электрических цепей постоянного тока с активно – емкостной нагрузкой. По своим характеристикам он хорош, удовлетворяет условиям ударной стойкости, но имеет недостатки в конструкции: большие габаритные размеры, масса, большой износ контактов, устаревшее дугогасительное устройство.

В связи с тем, что основной причиной потери контакта является загрязнение контактных поверхностей и образование окисной пленки и, исходя из соображений экономии контактного материала, было принято решение реконструировать контактную систему.

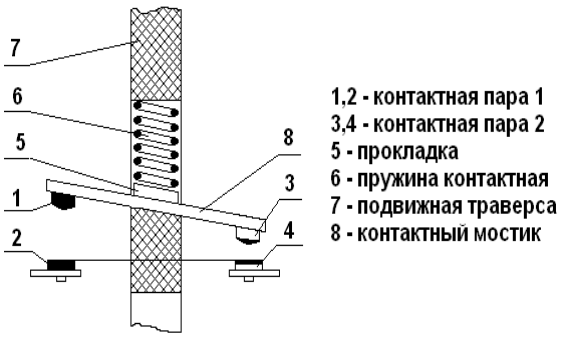


Рис. 1. Коммутирующий контакт мостикового типа.

Из-за образования окисной пленки увеличивается переходное сопротивление. За счет особенностей данной конструкции переходное сопротивление становится стабильным т. к. усилие контактной пружины передается на контактный мостик через прокладку, выполненную из материала с обратимой памятью формы. При увеличении температуры контактов происходит увеличение толщины прокладки и соответственно контактного давления. Это в свою очередь уменьшает переходное сопротивление. Данный вид коммутирующих контактов (рис. 1) позволяет сократить расход дефицитного сплава на основе серебра используемого в качестве контактных накладок. Благодаря ассиметрии, заведомо внесенной в конструкцию, происходит не равномерное размыкание контактов, т. е. сначала размыкается одна пара

контактов 1–2, на которых контактная накладка из сплава серебра больше, а затем размыкается контактная пара 3–4 с контактными накладками меньшей толщины. В связи с уменьшением времени горения дуги и энергии дуги на контактной паре 3–4 износ контактов происходит в меньшей степени. Это обеспечивает примерно равную износостойкость контактных пар, не смотря на разницу в количестве использованного в контактах материала. Поэтому такая конструкция мостиковых контактов позволяет снизить в 1, 2 раза суммарный расход контактного материала.

Произведен расчет контактной пружины и построена механическая характеристика (рис. 2). Рассчитан постоянный магнит методом расчета по участкам [4]. В конструкции предложенного в качестве объекта исследования контактора используется электромагнит с одинаковыми катушками намагничивания на включение и отключении. Исходя из механической характеристики, в конструкции проектируемого мной контактора будут использованы разные катушки, так как на замыкание контактов необходимо большее усилие, чем на отключение.

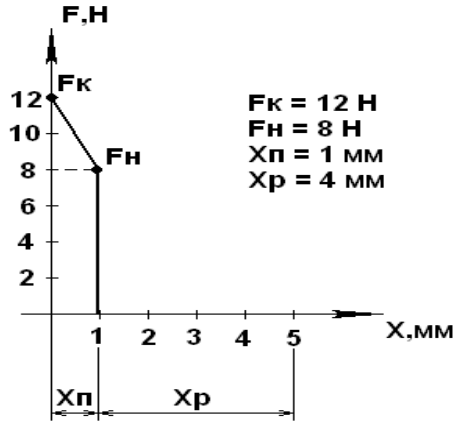


Рис. 2. Механическая характеристика.

Как и говорилось выше, одним из недостатков конструкции КНП-153 является устаревшее дугогасительное устройство, которое напрямую влияет на износостойкость контактов. Изучив различные типы конструкций дугогасительных камер и принципы дугогашения, было принято решение применить дугогасительное устройство закрытого типа с гасителем газодинамических колебаний (рис. 3).

Дугогасительное устройство имеет П-образное основание 1 и крышку 2, выполненную из пресс – материала и образующее при соединении закрытую камеру, где расположены неподвижные контакты 3 и подвижные мостиковые контакты 4. На некотором расстоянии от торцевых стенок основания 1 и крышки 2 установлены дугостойкие изоляционные перфорированные перегородки 5, отделяющие от камеры полость 6.

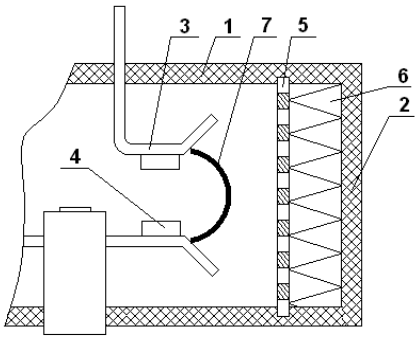


Рис. 3. Дугогасительное устройство закрытого типа с гасителем газодинамических колебаний.

Возникающая при размыкании контактов 3 и 4 электрическая дуга 7 движется по контактам под действием электромагнитных сил контура тока в направлении перегородки 5. Перед дугой образуется газодинамическая волна давления, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью. Достигая перфорированной перегородки 5, частично отражается, а частично проникает сквозь перегородки в полость 6, где после ряда отражений от стенок полости затухает. Полость 6 является активным гасителем газодинамических колебаний.

Согласно законам газодинамики, давление в волне, отраженной от перфорированной перегородки меньше, чем в случае отражения от сплошной стенки. Следовательно, уменьшается тормозящее воздействие отраженной волны на дугу, вследствие чего сокращается время нахождения дуги в зоне раствора контактов и общее время горения дуги, снижается износ элементов дугогасительного устройства.

Что касается самой конструкции контактора, необходимо будет пересмотреть некоторые детали, которые сделаны не обоснованно громостко, модернизировать контактную панель и корпус контактора.

Список литературы

1. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г., Сахаров Ю.В. Силовые полупроводниковые приборы (справочник). – М.: Энергия, 1975. – 512 с.
2. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования): учебное пособие для студентов электрических вузов. – М.: «Энергия», 1971.
3. Расчёт магнитной цепи постоянного тока. Методические указания к выполнению задания по курсу «Основы теории электрических аппаратов», – Томск: изд. ТПИ, 1985
4. Расчет магнитной цепи постоянного тока. Методические указания к выполнению задания по курсу «Основы теории электрических аппаратов» – Томск: изд. ТПИ, 1985

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ

Ломаева Ю.В., Ломакин А.П., Лукьянов А.А.

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yulya17.89@mail.ru

Исследованы электропривода с прерывистым законом движения, выполненные на базе асинхронных машин. Представлены имитационная и математические модели асинхронного электропривода прерывистого движения и произведена оценка влияния параметров нагрузки и регулировочных характеристик на выходные координаты электропривода и его точность.

Создание управляемых колебательных комплексов на базе автоматизированного электропривода является в настоящее время одной из важнейших научно – технических задач. Регулируемые механические колебания широко используются в машино- и приборостроении, горной и химической промышленности, в технике контроля и измерения [1].

Известны способы создания колебательного режима работы асинхронного двигателя за счет амплитудной, фазовой или частотной модуляции периодическим сигналом частоты Ω [2], что позволяет строить электропривода с прерывистым законом движения, обладающими высокими динамическими характеристиками.

Представленные способы создания прерывистого режима работы описываются функциями регулирования:

- амплитудная модуляция:

$$U_{\alpha s} = U_{m1} \cdot \cos(\omega_1 t + \beta);$$

$$U_{\beta s} = U_{m2} \cdot \sin(\omega_2 t + \beta)\sin(\Omega t + \alpha) \cdot A(t);$$

- фазовая модуляция:

$$U_{\alpha s} = U_{m1} \cdot \cos(\omega_1 t + \beta);$$

$$U_{\beta s} = U_{m2} \cdot \sin[(\omega_2 t + \beta) + (\Omega t + \alpha)] \cdot A(t);$$

- частотная модуляция:

$$U_{\alpha s} = U_{m1} \cdot \cos[\omega_1 \int \cos(\Omega t + \alpha) dt + \beta];$$

$$U_{\beta s} = U_{m2} \cdot \sin[\omega_2 \int \cos(\Omega t + \alpha) dt + \beta] \cdot A(t),$$

где U_{m1}, U_{m2} – амплитуды питающих напряжений, ω_1, ω_2 – частоты питающих напряжений, α, β, γ – начальные фазы питающих напряжений, *A(t)* определяется как

$$A(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i-1)} \sin[(2i-1)\Omega t + \gamma].$$

На основании математической модели электродвигателя колебательного движения была разработана в программном пакете MATLAB Simulink имитационная модель асинхронного электропривода с прерывистым законом движения (рис. 1).

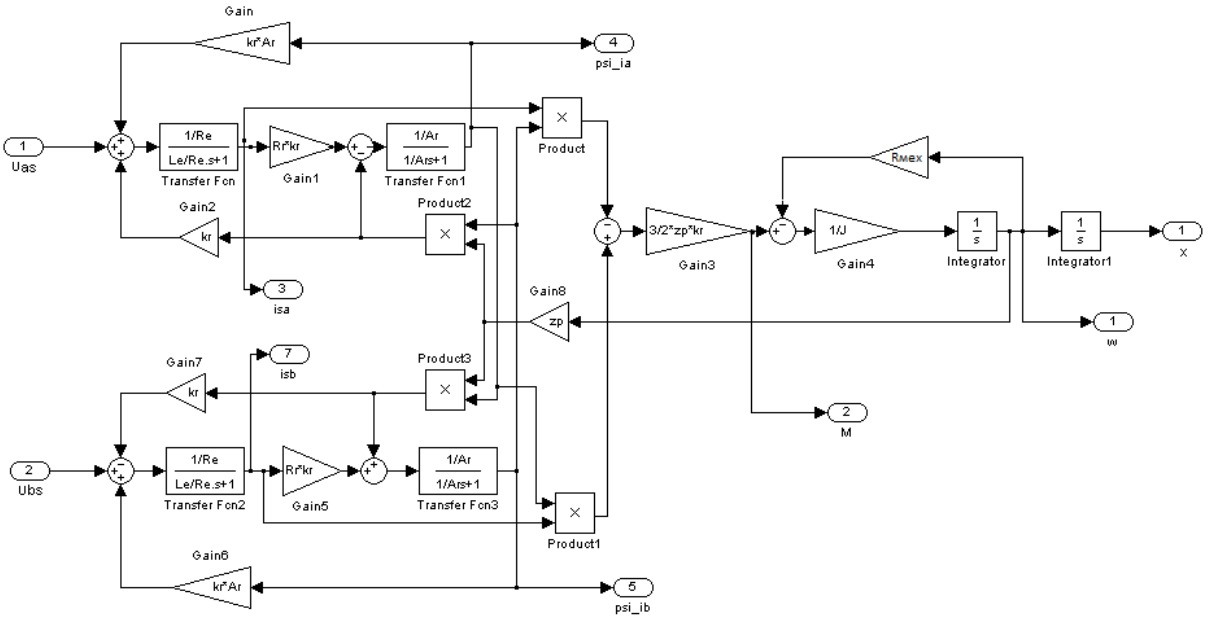


Рис. 1. Имитационная модель асинхронного двигателя

Были исследованы рабочие регулировочные характеристики для трёх способов возбуждения прерывистого режима работы.

В качестве примера на рис. 2, 3 и 4 представлены механические амплитудные и регулировочные характеристики $M, \chi, \omega = f(R_{MEX})$, $M, \chi, \omega = f(J)$ и $M, \chi, \omega = f(\Omega)$ при амплитудном способе формирования шагового режима работы для асинхронного двигателя типа АИР 71 А2, имеющего следующие параметры:

$R_S = 9{,}195$ Ом, $R_r = 8{,}564$ Ом,

$L_{os} = 0{,}033$ Гн, $L_{or} = 0{,}042$ Гн,

$L_{\mu} = 0{,}474$ Гн, $J = 2{,}1 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2.

Результаты исследований показали, что с изменением демпфирующей составляющей нагрузки (рис. 2) происходит снижение по экспоненциальной зависимости амплитуды и шага движения. При этом значение электромагнитного момента во всем диапазоне изменения параметра остается неизменным.

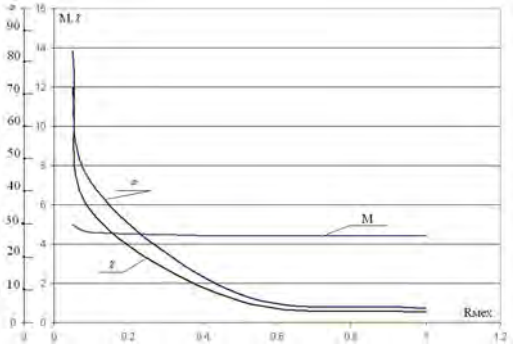


Рис. 2. Зависимость $M, \chi, \omega = f(R_{MEX})$

При изменении момента инерции двигателя (рис. 3) скорость падает, а электромагнитный момент и амплитуда шага остаются постоянными.

Было установлено, что с изменением частоты шага (рис. 4) скорость и электромагнитный момент увеличиваются, а амплитуда шага уменьшается по экспоненциальному закону, что отражает амплитудно-частотные характеристики электропривода при колебательном режиме работы.

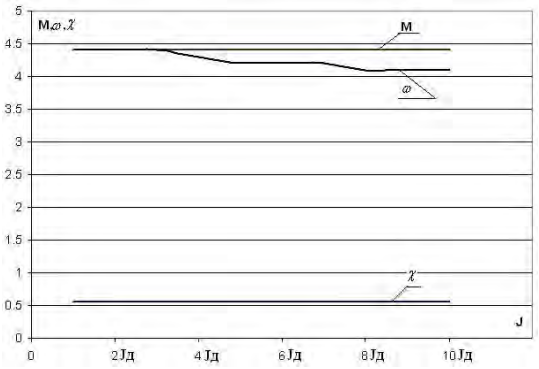


Рис. 3. Зависимость $M, \chi, \omega = f(J)$

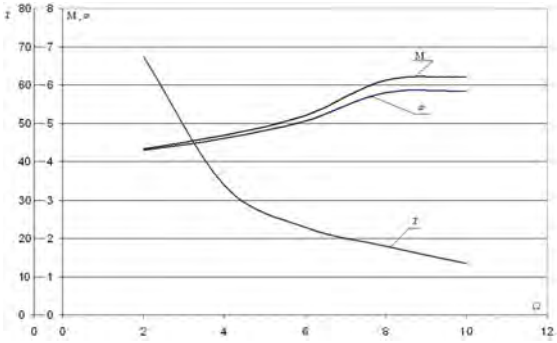


Рис. 4. Зависимость $M, \chi, \omega = f(\Omega)$

Установлено, что самым некритичным к изменению параметров нагрузки (частоты) является электропривод, построенный по схеме амплитудно-балансной модуляции. Данный способ обеспечения шагового режима является и более предпочтительным в плане обеспечения требуемой координатной точности.

Список литературы

1. Аристов А.В. Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. – Томск: Издательство – полиграфическая форма ТПУ, 200. – 176 с.
2. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. – М: Энергоатомиздат. 1984. – 152 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСКЛИНИВАНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЦН С ПЧ

Лопатин Р.Р.

Научный руководитель: Ведерников В.А., д.т.н., профессор

Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: rr_lopatin@bk.ru

Присутствие в добываемой нефти большого количества механических примесей и солей затрудняет эксплуатацию скважин, повышает износ оборудования, усложняет обслуживание скважин, при этом возрастают эксплуатационные расходы. В этих условиях очень быстро изнашиваются детали верхней пяты вала насоса, снижается надежность гидрозащиты погружного двигателя. Влияние солеотложения и выноса механических примесей на все насосы идентично: они забивают фильтры насосов, вначале уменьшая, а затем, полностью прекращая поступление жидкости в насос, или действуют как абразив, ускоряя процесс износа элементов насоса, а также приводят к заклини-

ванию вала погружного электроцентробежного насоса (ЭЦН).

Расклинивание вала установки ЭЦН достаточно сложный процесс, требующий комплексного подхода. Все попытки восстановить работоспособное состояние ЭЦН сводятся к работе установки в режиме перегрузки – это так называемый «тяжелый пуск». Данный режим ускоряет процесс расходования ресурса УЭЦН, а в частности, вызывает пробой изоляции статора погружного электродвигателя (ПЭД), плавление изоляции погружного кабеля, перегрев и сгорание двигателя, усиленный износ механических узлов насоса – срыв шпонок и слом вала, и т. д.

В любом случае, попытка расклинивания без предварительного анализа состояния установки может привести к ее поломке и, как следствие, дорогостоящему ремонту. Поэтому задача анализа предзаклиненного состояния УЭЦН и сам процесс расклинивания является важной для многих нефтегазодобывающих компаний.

Расклинивание ЭЦН обеспечивается применением предварительно рассчитанных значений момента на валу, развиваемого ПЭД при пуске. При этом величина ударного значения пускового момента определяется законом изменения частоты и величины напряжения на выходе преобразователя частоты (ПЧ). Реализация этого алгоритма требует оценки степени допустимости действия на валу механических нагрузок, в которой, с одной стороны, учитывается необходимость исключения механических повреждений установки (срез шпонок, деформация вала и др.), а с другой стороны – необходимость разворота погружного ЭЦН. Также при расклинивании необходимо учитывать продолжительность работы электродвигателя на повышенном токе, так как может произойти его перегрев и оплавление изоляции [1].

Целевая функция управления установкой типа УЭЦН, содержащей ПЧ, при ее расклинивании, сводится к обеспечению полной работоспособности установки, при минимальном расходовании ресурса погружного оборудования в процессе самого расклинивания. Это условие можно описать следующими выражениями:

$$\begin{cases} M_{\text{сз}} < M < M_{\text{макс}} \\ E_{\partial} = \left(\sum_{i=1}^{n} \int_{0}^{t_{ti}} (\Delta P_i - \Delta P_{ном}) dt \right) \to \min \\ n \to \min \end{cases}$$

где $M_{сз}$, $M_{макс}$ – момент статического заклинивания ЦН и максимально допустимый крутящий момент ЭЦН; $E_{д}$ – энергия, рассеиваемая в ПЭД во время расклинивания; n – число расклинивающих толчков; t_{ti} – длительность расклинивающего толчка; ΔP_i – потери в двигателе, во время расклинивающего толчка; $\Delta P_{ном}$ – номинальные потери в двигателе.

Перед началом расклинивания, производится анализ предаварийного состояния УЭЦН с оценкой момента статического сопротивления при заклинивании, которое осуществляется в точке короткого замыкания электродвигателя по следующей зависимости [2]:

$$M^*_{сз} = \frac{I^* \cdot U^*}{\alpha \cdot C},$$

где $I^*=I/I_{ном}$, $U^*=U/U_{ном}$, $M^*=M/M_{ном}$, $\alpha=f/f_{ном}$ – относительные ток, напряжение, момент и частота соответственно.

Величина C это константа, которая рассчитывается для каждого типа двигателя индивидуально, и определяется по формуле:

$$C = \frac{M_н \omega_{0н} (1 + \frac{R_1}{R_2})}{3 U_н I_н \cos\varphi},$$

где $U_н$, $I_н$, $M_н$ – номинальные значения напряжения, тока и момента ПЭД соответственно; $\omega_{0н}$ – скорость идеального холостого хода ПЭД при номинальной частоте напряжения питания; $cos\varphi$ – коэффициент мощности ПЭД; R_1, R_2 – активные сопротивления цепей статора и приведенное ротора соответственно.

Анализ пусковых характеристик асинхронного двигателя на математической модели [2] показал, что наиболее эффективным способом увеличения момента на валу ПЭД является снижение частоты питающего напряжения при его постоянной величине.

Далее строятся кривые зависимостей тока $I^*_{кз}$ и момента $M^*_{кз}$ от частоты при различных величинах напряжения по математической модели ПЭД, учитывающей сопротивление длинного кабеля, и находятся такие значения величины и частоты напряжения питания $U^*_{раскл}$, $\alpha_{раскл}$, при которых M^* двигателя будет превышать $M^*_{сз}$ с меньшими значениями тока для данной нагрузки.

Если значение тока во время расклинивания превышает номинальное значение, тогда производится оценка теплового состояния ПЭД и рассчитывается допустимое время расклинивающего толчка $t_{раскл}$ и время паузы $t_п$ по методу средних потерь, или по методу эквивалентного тока [3]:

$$\Delta P^*_{раскл} = \frac{P^*_{раскл} t_{раскл} + P^*_п t_п}{t_{раскл} + t_п} \le \Delta P^*_{ном},$$

$$I^{*2}_{дв} t_{раскл} \le I^{*2}_{уст} t_{уст},$$

где $P^*_{раскл}$, $P^*_п$ – относительные потери мощности ПЭД при расклинивании и во время межтолчковой паузы; $t_п$ – время межтолчковой паузы; $I^{*2}_{дв}$, $t_{раскл}$ – относительный ток двигателя и время расклинивающего толчка; $I^{*2}_{уст}$, $t_{уст}$ – относительный ток и время уставки.

Затем, на основе полученных расчетов, а также на основе технических возможностей ПЧ, определяется характер изменения величины и частоты напряжения питания на выходе ПЧ, вид которых представлен на рис. 1.

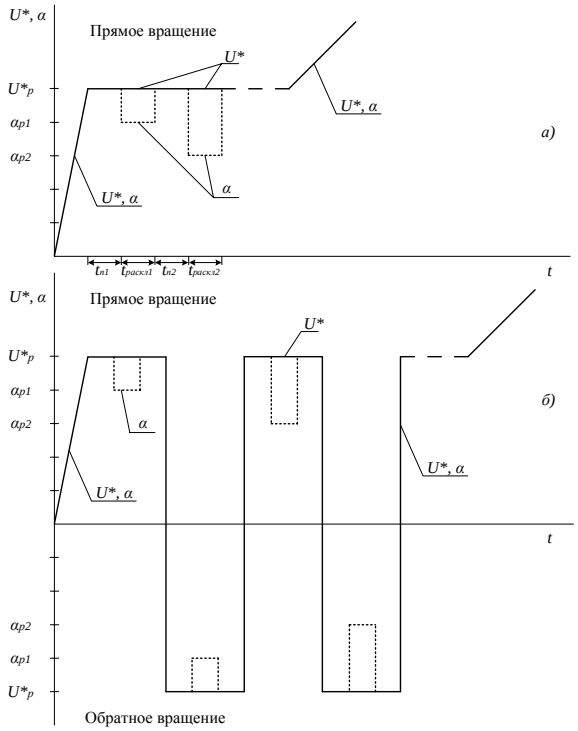


Рис. 1. Кривые изменения величины и частоты напряжения питания ПЭД при расклинивании насоса путем снижения частоты напряжения питания: а) – без реверса ПЭД, б) – с реверсом

Процесс расклинивания УЭЦН по заданному алгоритму происходит с постепенным увеличением крутящего момента на валу ЭЦН и продолжается до тех пор, пока ЭЦН не развернется, либо до достижения максимально допустимого момента $M_{макс}$.

Если ЭЦН не развернулась, то необходимо проведение технологических операций по промывке насоса (водой или нефтью), солянокислотной обработке и др. После которых возможен повтор процесса расклинивания по предлагаемому алгоритму. Функциональная схема показана на рис. 2.

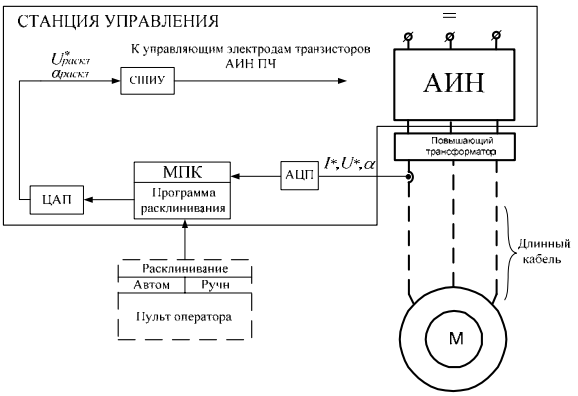


Рис. 2. Функциональная схема формирования задающего сигнала на расклинивание ЭЦН

Реализация предложенного алгоритма осуществляется программно и задается с пульта оператора (ПО) в ручном или в автоматическом режиме. Предварительно в микропроцессорный контроллер (МПК) записывается программа расклинивания, где происходит анализ тока статора, величины и частоты напряжения питания и далее происходит выработка управляющих сигналов. Задающие сигналы $U^*_{раскл}$, $\alpha_{раскл}$ поступают в систему широтно-импульсного управления (СШИУ) автономного инвертора напряжения (АИН) ПЧ, где формируются соответствующие управляющие импульсы, подаваемые на управляющие электроды транзисторов инвертора ПЧ.

Список литературы

1. Лопатин Р.Р. Использование момента на валу ЭЦН для контроля состояния погружного центробежного насоса. Сборник III международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании». – Тюмень: ТГНГУ, 2008. – С. 140–141.
2. Ведерников В.А., Лысова О.А., Лопатин Р.Р. Исследование и анализ процесса «расклинивания» погружных насосов установок добычи нефти. Энергетика Тюменского региона. – Тюмень: Изд-во «ЭТР», 2009. – №4. – С. 32–34.
3. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для вузов. – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2006. – 607 с.

РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Лунёв Д.А.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: Demon30004@mail.ru

Для хранения и накопления энергии маховики используется сравнительно недавно. Маховик состоит из махового колеса, которое вращается с очень высокой скоростью и имеет связь с электрическим аппаратом, который может работать как двигатель или как генератор [1].

В [2] было рассмотрено несколько разных вариантов конструкторского исполнения накопителей кинетической энергии. Были проанализированы достоинства и недостатки этих накопителей, а также варианты возможного решения проблем их проектирования и эксплуатации.

Одно из применений накопителя механической энергии – экономия и стабилизация обеспечения электроэнергией частного жилого дома в ночное время суток. При проектировании накопи-

теля для такой цели нужно знать количество потребляемой энергии всех электроприборов в течение необходимого времени. Исходя из среднестатистических подсчётов, количество потребляемой электроэнергии составляет примерно 2 кВт.

Эффективно спроектировать накопитель энергии можно лишь с использования современных систем автоматизированного проектирования. Одной из таких систем является T-FLEX CAD. Проектирование конструкции при помощи T-FLEX CAD позволяет создать графические 3D-модели как отдельных деталей, так и сборки конструкции, и на основе 3D-модели получить комплект конструкторской документации. T-FLEX CAD – система, имеющая удобную параметризацию, что даёт возможность многовариантного проектирования конкурентоспособных накопителей энергии.

На рис. 1 и рис. 2 представлена 3D-модель варианта конструкции накопителя энергии в собранном и разобранном виде.

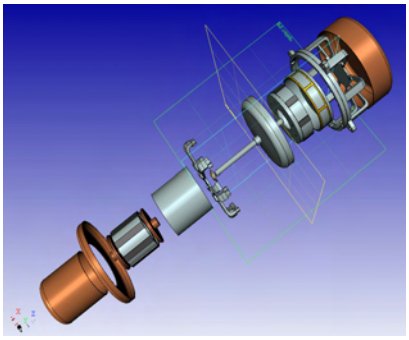


Рис. 1. 3D-модель накопителя в разобранном виде

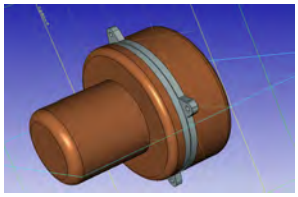


Рис. 2. 3D-модель накопителя в собранном виде

Конструкция накопителя состоит из следующих элементов:

- маховика;
- двигателя;
- генератора;
- корпуса;
- опор;
- кожуха.

Маховик, 3D-модель которого представлена на рис. 3, выполняется сплошным из стали, что позволяет достичь максимальной скорости вращения, которая равна 20000 об/мин.

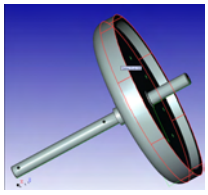


Рис. 3. 3D-модель маховика

Для разгона маховика используется бесконтактный двигатель постоянного тока, 3D-модель которого представлена на рис. 4. Данный тип двигателя позволяет регулировать момент и частоту вращения, то есть реализовать режим разгона при постоянном моменте. Когда разгон двигателя осуществляется при постоянной средней мощности, мощность маховика при этом будет иметь максимальное значение по сравнению с другими режимами разгона. Двигатель крепится следующим образом. Ротор крепится непосредственно на маховик при помощи восьми болтов, а статор крепится к корпусу так же при помощи восьми болтов. Такой вид крепления позволяет достичь соблюдения соосности конструкции.

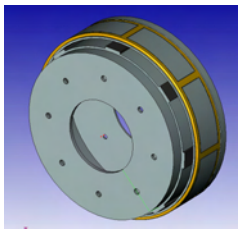


Рис. 4. 3D-модель двигателя

Расчёт основных размеров двигателя осуществлялся по следующей формуле [3]:

$$\frac{D^2 \cdot L_p \cdot w1}{P'} = \frac{6.1 \cdot 10^{11}}{a_\delta \cdot K_B \cdot K_0 \cdot A \cdot B_\delta},$$

где $K_B = K_0 = 1$ для машин постоянного тока; K_B – коэффициент, зависящий от формы кривой поля; K_0 – обмоточный коэффициент для первой гармонической кривой э.д.с.; P' – расчётная мощность машины; $w1$ – максимальна частота вращения; B_δ – максимальная индукция в воздушном зазоре; a_δ – коэффициент полюсного перекрытия, значение которого лежит в пределах 0,63–0,72; A – линейная нагрузка.

При расчёте было получено:

- диаметр якоря машины D = 160 мм;
- длина якоря машины L_p = 60 мм.

Для съёма энергии с маховика выбран генератор, который, как и двигатель, является бесконтактным и выдаёт постоянный ток.

Корпус накопителя, 3D-модель которого представлена на рис. 5, состоит из двух составных частей и выполняется из прочной стали в виде каркаса. Такая форма корпуса выбрана для уменьшения массы. Корпус так же служит для закрепления на нём опор, в которых будет вращаться маховик и активные части двигателя и генератора.

Для опор использованы радиально-упорные шарикоподшипники фирмы SKF, которые имею достаточную скорость вращения, необходимую надёжность и долговечность.

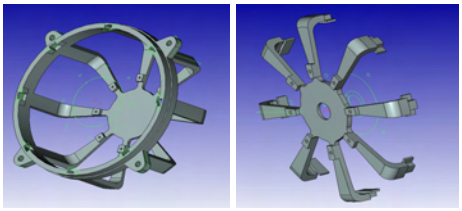


Рис. 5. 3D-модель корпуса

Так как все активные части конструкции должны находиться в вакууме, то кожух выполняется из лёгкого, но прочного листового алюминия, который поддается пайке.

3D-модели составных частей кожуха представлены на рис. 6.

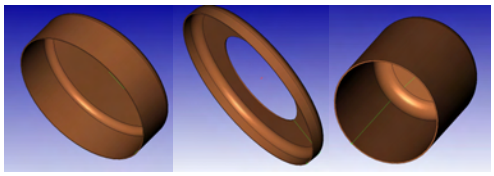


Рис. 6. 3D-модели составных частей кожуха

Для удобства перемещения накопителя при эксплуатации спроектирован узел транспортировки, 3D-модель которого представлена на рис. 7. При помощи транспортировочного узла накопитель может перемещаться, опираясь на колёса, либо занимать устойчивое положения за счёт опоры на ножки.

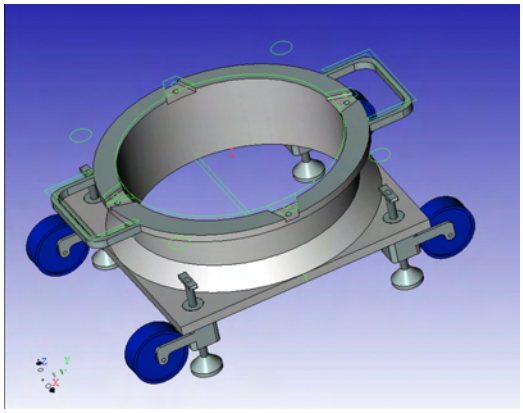


Рис. 7. 3D-модель транспортировочного узла

Список литературы

1. http://www.proatom.ru
2. Лунев Д.А. Накопители механической энергии на основе супермаховика // Современные техника и технологии : XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / труды в 3-х томах – Томск, ТПУ. – 4–8 мая 2009. – Томск: Изд. ТПУ. – 2009 – Т. 1. – С. 180–182.
3. Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А., Сергеев П.С. Проектирование электрических машин. – М., 1969.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ МАХОВИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX CAD

Мезинова А.А.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mezunchic@mail.ru

Для ориентации, стабилизации и обработки программных угловых движений космическим аппаратом в настоящее время широкое распространение в качестве исполнительных органов получили двигатели-маховики [1].

Исполнительный орган на базе двигателя-маховика представляет собой электродвигатель с маховой массой, установленной на валу. Такой исполнительный орган имеет оду степень свободы, связанную с осью вращения вала [2].

Двигатель-маховик представляет собой сложную электромеханическую конструкцию.

Параметры двигателя-маховика связаны как прямой, так и обратной зависимостями. Подбор оптимального сочетания этих зависимостей невозможен без использования современных технологий проектирования, на основе CAD-систем.

Одной из современных эффективных CAD-систем является T-flex CAD – мощная параметрическая система 3D-моделирования и проектирования. T-flex CAD позволяет не просто создавать 3D-модели деталей и сборок, но и рассчитывать их характеристики, в том числе прочностные. Параметрические возможности системы позволяют получать оптимальные характеристики разрабатываемых устройств.

При оптимальном проектировании двигателя-маховика первым этапом является создание его 3D-модели.

3D-модель двигателя-маховика создана с использованием CAD-системы T-flex CAD 2D/3D.

Изначально габариты двигателя-маховика, а точнее диаметр маховика, был рассчитан исходя из следующих данных:

$$H = 10 \text{ Нмс};$$

$$\Omega = \pm 3000 \text{ об/мин},$$

где H – кинетический момент, вырабатываемый двигателем-маховиком, Ω – угловая скорость вращения двигателя-маховика.

Диаметр маховика составил 300 мм.

На рис. 1 она представлена 3D-модель исполнительного органа на базе двигателя-маховика в собранном виде.

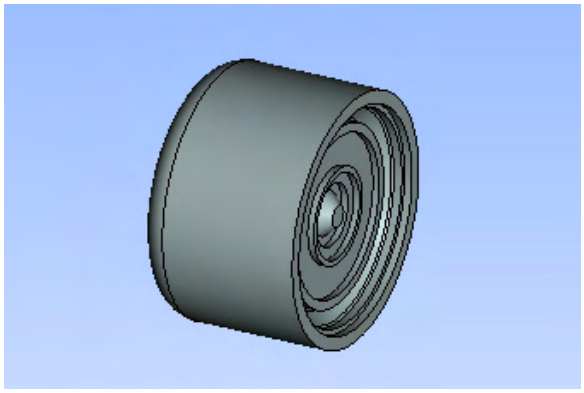


Рис. 1. 3D-модель исполнительного органа в собранном виде

На рис. 2 и 3 представлены 3D-модели двигателя-маховика в разобранном виде.

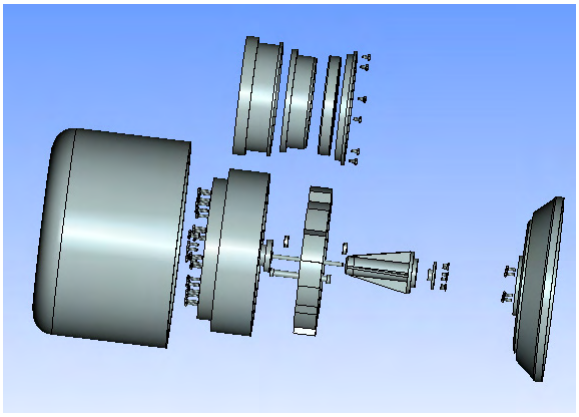


Рис. 2. 3D-модель исполнительного органа в разобранном виде

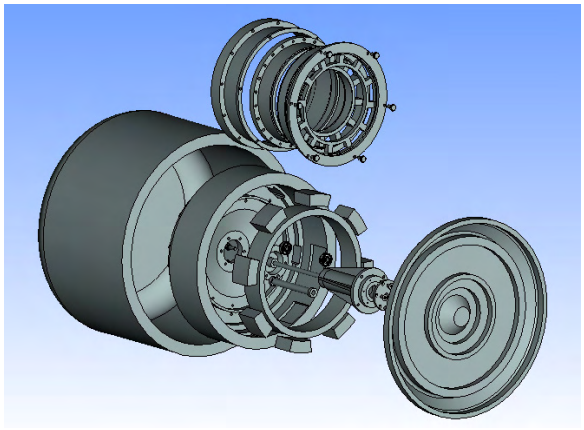


Рис. 3. 3D-модель исполнительного органа в разобранном виде

Конструкция исполнительного органа состоит из следующих основных элементов: маховика, корпуса, кожуха, шарикоподшипниковых опор, электропривода и датчиков положения ротора [2].

Маховик крепится на валу, который установлен в шарикоподшипниковые опоры. Корпус выполнен жестким и вся конструкция для обеспечения герметичности закрывается легким кожухом.

Основным элементом конструкции является маховик.

Маховик представляет собой диск сложной формы с большим количеством отверстий для крепления и облегчения конструкции.

3D-модель маховика представлена на рис. 4.

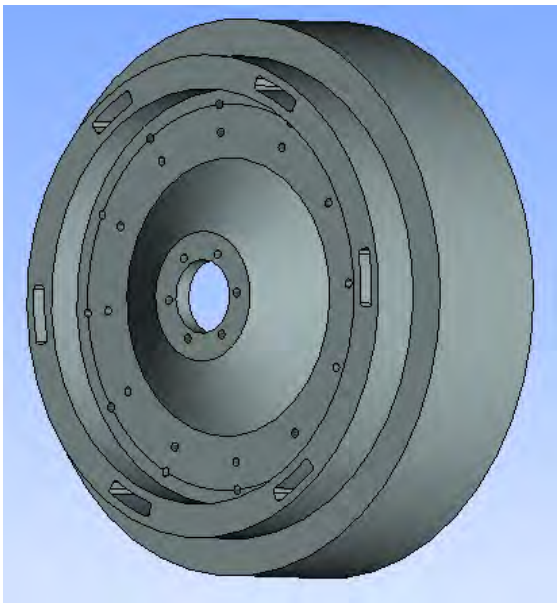


Рис. 4. 3D-модель маховика

Материалом для изготовления маховика выбирается сталь, т. к. этот сплав наиболее подходит для скорости вращения, на которой будет работать маховик (Ω = 3000 об/мин).

Сборочная 3D-модель конструкции исполнительного органа параметрическая, при изменении начального диаметра маховика можно получать большое количество вариантов конструкции.

При переборе вариантов можно получить оптимальную (по выбранному критерию) конструкцию исполнительного органа с заданными характеристиками.

Список литературы

1. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами: – М. Машиностроение, 1974. – С. 147–158.
2. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. – Томск: Изд-во ИПФ ТПУ, 2000.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Михайлов И.Ю.

Научный руководитель: Федянин А.Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: mihaylov_iy@mail.ru

В настоящее время проблемам качества электротехнической продукции уделяется большое внимание. В частности, в программу периодических испытаниях асинхронных двигателей входит целый комплекс испытаний, проведением которых занимаются специальные лаборатории.

В большом количестве испытательных лабораторий, проверка качества асинхронных двигателей на 70% ведется вручную. Например, в некоторых лабораториях, при проведении опытов холостого хода, короткого замыкания и построения рабочих и механических характеристик, снятие показателей с датчиков производится в ручном режиме, т. е. показания записываются с циферблатов амперметров, вольтметров и т. д. Показатели с датчиков напряжения, тока и энкодеров записывается в специальные бланки проведения испытаний. Затем проводятся промежуточные выкладки, определяются величины скольжения, моментов, полезной мощности на валу двигателя. После этого бланк испытаний передается в отдел, где по найденным ранее величинам строятся механические и рабочие характеристики двигателя, при этом обычно подобной работой занимаются женщины вручную. И только после проведения всех приведенных выше этапов делается вывод о пригодности двигателя к эксплуатации. Полный цикл периодических испытаний асинхронного двигателя длится несколько недель.

Развитие продукции, предназначенной для автоматизации производственной деятельности, дало возможность автоматизации контроля качества производимой продукции.

Российская компания «ВиТэк» предлагает испытательные стенды для автоматизации процесса проведения периодических стендовых испытаний асинхронных электродвигателей в соответствии с ГОСТ и ТУ. Стенд состоит из персонального компьютера – рабочего места оператора испытательной станции, контактных механизмов, а также датчиков тока и напряжения. Станция позволяет проводить испытания до 10 электродвигателей различного типа одновременно. Оператор испытательной станции указывает испытательные места, на которых будут проводиться испытания двигателей, их тип (из базы данных), серийные номера и набор текстов. [1]

В данном стенде испытания могут проводиться как в автоматическом, так и ручном режиме. При этом ручной режим подразумевает ввод данных оператором (т. е. ввод показаний с датчиков вручную).

В автоматическом режиме производится сравнение полученных и обработанных данных с установленными значениями, которые находятся в базе данных. Также она отслеживает данные на случай выхода значений за установленные допуски и может принимать решение об отбраковке продукции.

В автоматическом режиме выполняются следующие виды испытаний электродвигателей:

- измерение сопротивлений обмоток статора и ротора;
- испытание изоляции повышенным напряжением на пробой;
- испытание междувитковой изоляции обмоток статора и ротора на электрическую прочность;
- опыт холостого хода;
- опыт короткого замыкания;
- испытание правильности заливки ротора;
- испытание на повышенной частоте вращения;
- измерение коэффициента трансформации.

Программное обеспечение этого испытательного стенда, обрабатывающее и отслеживающее все данные, выполнено в среде NI LabVIEW, также использованы дополнительные библиотеки, разработанные на языке С. Измерительная часть выполнена на базе PCI-платы NI 6224 и датчиков напряжения и тока фирмы LEM.

Итогом работы испытательного стенда служит возможность печати паспорта электродвигателя и протокола испытаний.

Научно-производственное предприятие «Электромаш», производит и поставляет на рынок стенд, предназначенный для автоматизированных испытаний асинхронных электродвигателей переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220, 380, 500 и 660 В с короткозамкнутыми и фазными роторами, мощностью до 100 кВт. [2]. К достоинствам этого испытательного стенда можно отнести достаточно широкий ряд испытуемых электродвигателей, а также возможность испытывать асинхронные электродвигатели с фазными роторами. Однако, этот продукт имеет ряд недостатков, к которым можно отнести большие массогабаритные показатели (стенд имеет отдельный пульт управления, в отличие от продукта компании «ВиТэк»), а также не имеет возможности одновременного испытания нескольких электродвига-

телей, что существенно повышает общее время испытание партии двигателей.

ООО Научно-производственное предприятие «АВЭМ» производит комплексный стенд проверки асинхронных двигателей, который предназначен для проведения проверки асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, мощностью до 160 кВА. Стенд имеет конвейерную модификацию для больших потоков испытуемых электродвигателей. [3]

Также как и испытательный стенд компании «ВиТэк», сбор информации и промежуточные выкладки производятся при помощи компьютера, но также в любой момент времени есть возможность отследить любое измеряемое значение по показаниям реальных приборов (амперметров, вольтметров и т. д.), в отличие от стенда компании «ВиТэк», в котором эти приборы в виртуальном исполнении.

На комплексном стенде проверки асинхронных двигателей можно провести следующие испытания в автоматическом режиме:

- испытания изоляции;
- измерение активного сопротивления обмоток;
- определение коэффициента трансформации; опят холостого хода;
- испытание межвитковой изоляции;
- опыт короткого замыкания;
- опыт – работа под нагрузкой.

Таким образом, применение автоматизированных стендов уменьшает время проведения периодических испытаний электродвигателей. При этом увеличивается качество испытаний (исключается субъективная ошибка человека), уменьшаются массогабаритные показатели самих испытательных стендов.

Темой моей магистерской диссертации является разработка автоматизированного испытательного стенда периодических испытаний асинхронных электродвигателей с применением программируемого логического контроллера. Этот испытательный стенд будет выполнять следующие испытания в автоматическом режиме:

- опыт холостого хода;
- опыт короткого замыкания;
- построение механических и рабочих характеристик и сравнение их с установленными.

Контроль и управление стендом осуществляет контроллер EC4P-202 фирмы Moeller. Контроллер подает сигналы на выполнение опытов холостого хода и короткого замыкания, а также в нем ведется построение механических и рабочих характеристик (включение в определенном порядке 10 ступеней сопротивлений, подача сигналов на приводной механизм). Также контроллер будет выполнять все промежуточные математические операции (обработка данных), сформировывать массивы данных и отправлять эту информацию на компьютер.

Компьютерная программа будет производить непосредственное построение характеристик и сравнение полученных данных с установленными по ГОСТу значениями, и делать вывод о пригодности данного двигателя к эксплуатации.

В качестве приводного механизма будет использован двигатель постоянного тока (для обеспечения нагрузки на валу испытуемого асинхронного двигателя). Будут использоваться датчики тока и напряжения швейцарской компании «LEM».

Программирование контроллера осуществляется в среде Codesys, на 5 языках стандарта МЭК 61131-3 [4]. Компьютерная программа будет выполнено в среде NI LabVIEW.

Преимуществами испытательного стенда являются:

- возможность подключения серверов истории испытаний и серверов баз данных;
- полностью автоматизированная работа стенда.
- возможность легкого изменения неполадок в программном коде;
- относительная дешевизна, по сравнению с рассмотренными выше испытательными стендами.

Недостатком испытательного стенда является неполный комплекс периодических испытаний.

При автоматизации испытательных стендов периодических испытаний электродвигателей контроль и управление стендом можно осуществить различными методами. Применение ПЛК при этом является рациональным и имеет ряд своих преимуществ, существенных в ряде случаев.

Список литературы

1. www.vitec.ru
2. www.electromash.com
3. www.avem.ru
4. Руководство пользователя по программированию ПЛК в Codesys 2.3. ПК Пролог, 2008 – 452 с.

ВИДЫ ОТКАЗОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Мукантаев А.К.

Научный руководитель: Муравлев О. П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mukantai@sibmail.com

Трехфазные асинхронные двигатели общего назначения являются наиболее массовой продукцией электромашиностроения. Это объясняется простотой конструкции и высокой надежностью при условии правильной эксплуатации. Достаточно отметить, что асинхронные электроприводы составляют около 95% общего количества электроприводов, а асинхронные двигатели потребляют около 40% производимой в нашей стране электроэнергии. Поэтому проблемы сохранения, обеспечения, повышения и прогнозирования надежности, эффективный контроль и анализ показателей качества этих двигателей в процессе производства и после их изготовления, своевременная диагностика причин разладки технологического процесса и основанное на этих результатах управление качеством изготовления электродвигателей являются актуальными задачами.

Целью статьи является анализ возможных отказов асинхронных двигателей при эксплуатации для повышения эффективности и надежности асинхронных двигателей как при проектировании, так и при эксплуатации.

Для определения характера и причин отказов электродвигателей за последние годы проводился систематический сбор и изучение материалов эксплуатации значительного количества асинхронных двигателей в различных отраслях народного хозяйства. На основе этих данных, оказалось, что в подавляющем большинстве случаев (85–95%) отказы происходят из-за повреждения обмотки статора, которые распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой межфазной изоляции – 5%, пробой пазовой изоляции – 2%, а 5–8% электродвигателей отказывают из-за повреждения подшипникового узла [1].

Причины отказов можно дифференцировать следующим образом: технологические составляют примерно 35%, эксплуатационные (в основном из-за неудовлетворительной защиты электродвигателей) – 50% и конструкционные – 15% [1].

Рассмотрим и проанализируем подробнее основные причины, приводящие к отказам асинхронных двигателей.

1. *Низкое качество проектирования*. При исследовании отказов электродвигателей можно обнаружить определенную группу повреждений, обусловленных дефектами проектирования. В большинстве случаев эти дефекты связаны с излишним использованием активных и конструктивных материалов.

Так высокий коэффициент заполнения пазов, относящийся к способу повышения использования машины, подразумевает увеличение объема проводников в пазу, за счет применения более тонкой изоляции, увеличения плотности укладки, упорядочивания расположения проводников в пазу. Данные действия заставляют прилагать значительные усилия при укладке обмотки, что неизбежно приводит к местным повреждениям изоляции и витковым замыканиям на испытательном стенде или в процессе эксплуатации. Поэтому в процессе проектирования машины, а тем более серии машин, выбор коэффициента заполнения должен быть обоснован для каждого типа изоляции экспериментальным материалом, подтверждающим доступность данного коэффициента заполнения для витковой изоляции.

Малый запас теплостойкой изоляции при перегрузке может привести к существенному снижению срока службы изоляции. Решением может послужить некоторый температурный запас выбранный на стадии проектирования двигателя.

2. *Низкое качество изоляционных материалов и комплектующих изделий*. Причиной межвитковых замыканий в обмотках статоров асинхронных двигателей нередко является низкое качество изоляции обмоточных проводов. Значительно снижает нагревостойкость и срок службы обмоток из эмалированного провода пропитка не подходящим для этой цели лаками. Также довольно частым дефектом является повышенная жесткость обмоточного провода, затрудняющая процесс обмотки. Значительные усилия при укладке и отгибе лобовых частей приводят к повреждению изоляции.

3. *Дефекты технологии производства*. Дефекты, в процессе изготовления двигателей, могут быть вызваны различными причинами: нарушениями технологического процесса, несоответствием станков, приспособлений и инструмента предъявляемым требованиям, недостаточной квалификацией рабочих, низким уровнем производственной культуры и т. п.

4. *Неправильное применение двигателей*. Условия применения асинхронных двигателей разнообразны. Поэтому существуют различные исполнения и модификации двигателей для удовлетворения специфических требований, связанных с особенностями нагрузок, окружающей среды и режимов работы. Однако, отказ защиты не следует относить к надежности электрических машин, но необходимо помнить о важной роли надежной

защиты. Так, на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях с низким уровнем квалификации обслуживающего персонала отказы асинхронных двигателей из-за неправильной работы или отказа защиты достигают 40%.

Так как большинство отказов асинхронных двигателей связанно с неисправностями обмотки статора, основное внимание должно быть обращено на повышение качества обмоточных работ. Однако имеются и другие слабые звенья дающие заметный процент брака и существенно снижающие показатели надежности. Одним из таких звеньев является подшипниковый узел. Следует упомянуть также о случаях небрежной укладки в пакеты и слабой прессовки активной стали, значительной неравномерности воздушного зазора и некачественной балансировки ротора.

Одним из способов повышения качества и надежности асинхронных двигателей является повышение качества проектирования. Для этого могут применяться различные расчетные методы оценки показателей надежности, позволяющие на стадии разработки определить возможность выполнения требуемых уровней показателей надежности, обосновать структурную схему изделия, определить необходимые уровни показателей надежности для комплектующих изделий, агрегатов, узлов, элементов и деталей.

Для проведения расчетов показателей безотказности (основного свойства надежности) электрических машин применяют методы структурных схем, логических схем и схемно-функциональный метод.

Самым простым методом является метод структурных схем, заключающийся в том, что реальное изделие отображается в виде структурной схемы событий безотказной работы составных частей. Разработка структурной схемы изделия производиться при соблюдении следующих принципов:

а) изделие подразделяется на ряд составных частей, выполняющих определенные функции, при этом каждая составная часть формирует выходные параметры при условии правильного поступления к ней выходных параметров или сигналов;

б) все составные части должны быть взаимосвязаны при выполнении заданных функций;

в) все составные части рассматриваются как одноотказные, то есть отказ каждой составной части приводит к отказу изделия;

г) изделие представляется в виде структурной схемы, состоящей из последовательных и параллельных соединений составных частей, и отказ каждой составной части является независимым событием;

д) в схеме не должно быть события, являющегося отрицанием другого события.

С точки зрения надежности обмотка статора и подшипниковый узел представляют собой систему, все элементы которой соединены логически последовательно и не имеют резервирования (рис. 1).

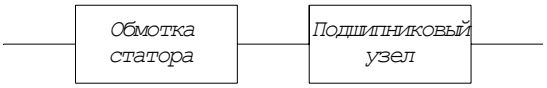


Рис. 1. Структурная схема последовательного соединения наименее надежных сборочных единиц асинхронного двигателя

Поэтому, используем теорему умножения вероятностей для независимых событий и получаем следующую формулу для определения вероятности безотказной работы асинхронного двигателя при последовательном соединении составных частей:

$$P = \prod_{i=1}^{N} P_i ,$$

где P_i – вероятность безотказной работы i-й составной части; N – количество составных частей.

Рассмотрев наиболее вероятные виды отказов асинхронных двигателей и их причины, можно сделать вывод о том, что повышение качества, надежности и эффективности эксплуатации является комплексной задачей, которая должна учитываться и реализовываться рядом конкретных действий на всех стадиях жизни асинхронного двигателя – при проектировании, производстве и эксплуатации.

Список литературы

5. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов/ Н.Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
6. Захарченко П.И., Ширнин Е.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М. Обеспечение надежности асинхронных двигателей. – Донецк: УКРНИИВЭ, 1998. – 324 с.
7. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий. – М.: Олита, 2003. – 472 с.
8. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. – М.: Энергоиздат, 1968. – 176 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ

Мукушева А.Б.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: asiyam2410@sibmail.com

На перекачку центробежными насосами чистых и сточных вод в России расходуется 120–130 млрд кВт ч электроэнергии. Стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводно-канализационных предприятиях при использовании поверхностных вод составляет 40– 50%. При использовании подземных вод этот показатель увеличивается до 80%. Несмотря на это созданию экономичных режимов работы насосных установок пока еще уделяется недостаточно внимания. В результате 5–15% энергии нерационально теряются в процессе перекачки чистых и сточных вод. В отдельных случаях этот показатель колеблется в пределах 25–50%.

Основной смысл использования регулируемого электропривода в насосных установках заключается в том, чтобы привести в соответствие режим работы насосов с режимом работы водопроводной сети. Водопотребление непрерывно изменяется во времени по вероятностным законам. Чтобы отслеживать эти изменения, необходимо непрерывно регулировать режим работы насосной установки.

Процесс регулирования осложнен несоответствием характеристик центробежных насосов и трубопроводов. Для увеличения подачи воды по трубопроводу напор на насосной станции надо увеличивать, а характеристики центробежных насосов таковы, что при увеличении подачи воды напор, развиваемый насосом, падает. В то же время при уменьшении подачи воды напор насоса следовало бы тоже уменьшить, а он увеличивается. Поэтому в периоды уменьшенного водопотребления системы водоснабжения работают с избыточным напором, который гасится и дросселирующих устройствах или в водоразборной арматуре у потребителя. При этом нерационально расходуется энергия на создание избыточных напоров. Под воздействием избыточных напоров увеличиваются утечки и непроизводительные расходы воды, возникают повышенные механические напряжения в стенках труб.

Несоответствие в режимах работы насосов и трубопроводов может быть устранено изменением частоты вращения рабочих колес насосов. Частота вращения насосов должна регулироваться в соответствии с изменениями водопотребления. При уменьшении частоты вращения насоса уменьшается его подача воды и развиваемый им напор. При увеличении частоты вращения напор увеличивается одновременно с увеличением подачи воды.

Регулированием частоты вращения насоса его рабочие параметры приводятся в соответствие с режимом работы водопроводной сети. Чтобы изменить частоту вращения насоса, его оснащают регулируемым приводом, т. е. регулируемый привод является своего рода исполнительным устройством, изменяющим частоту вращения насоса. Чаще всего используется в насосных установках регулируемый электропривод.

Значение частоты вращения насоса, с которой он должен работать в тот или иной момент времени, определяется режимом работы насосной установки. Требуемое значение частоты вращения устанавливается системой автоматического управления автоматически в зависимости от многих факторов. К числу факторов, влияющих на частоту вращения насоса, относятся: расход воды в системе, уровень воды в резервуарах, значения статического и динамического противодавления, количество параллельно работающих насосов, количество насосных установок, подающих воду в сеть, и пр.

Длительное время на энергосбережение в отечественных насосных и воздуходувных установках не обращалось серьезного внимания. Хотя в СССР периодически и принимались постановления органов власти о рациональном использовании электрической и тепловой энергии, но в насосных и воздуходувных установках энергосберегающие технологии широкого распространения не получили. Основными препятствиями к использованию энергосберегающих технологий были: относительная дешевизна энергетических ресурсов (в СССР тарифы на электроэнергию в те годы были 1–3 коп/кВт ч) и низкая надежность энергосберегающего оборудования.

Гидравлическая машина, создающая напорное перемещение жидкости при сообщении ей энергии, называется *насосом.* Насос в совокупности с электроприводом и передаточным механизмом (муфтой, редуктором, шкивом и т. п.) образует *насосный агрегат.* Комплекс оборудования, обеспечивающий работу насосов в требуемом режиме и состоящий из одного или нескольких насосных агрегатов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, контрольно-измерительной аппаратуры, а также аппаратуры управления и защиты, образует насосную *установку.*

Электроэнергия, потребляемая насосными агрегатами, расходуется на подъем жидкости и преодоление гидродинамического сопротивления в трубопроводах. Кроме того, часть электроэнергии расходуется в самих насосных агрегатах: на преодоление сил трения в сальниках и подшипниках насосных агрегатов, на нагрев магнитопровода и обмоток в электродвигателе, на его вентиляцию и пр.

Отношение полезно использованной в насосном агрегате электроэнергии к электроэнергии, полученной из электрической сети, характеризуется КПД агрегата. Для современных насосных агрегатов в зависимости от их мощности, назначения и других факторов значение КПД варьируется в пределах от 0,3 до 0,9.

Мощность N, потребляемая водяным насосом, кВт

$$N = 9{,}81\frac{QH}{\eta_H},$$

где Q – подача насоса, $м^3/с$; η_H – КПД насоса.

Мощность P, потребляемая насосным агрегатом, кВт

$$P = \frac{N}{\eta_{ЭД}\eta_{ПР}},$$

Здесь $\eta_{ЭД}$ – КПД электродвигателя; $\eta_{ПР}$ – КПД преобразующего устройств.

Для устранения потерь электроэнергии в насосных установках необходимо обеспечить оптимальный режим работы насоса и уровень в приемном резервуаре стабилизировать на верхнем максимально допустимом пределе.

Наличие избыточных напоров кроме перерасхода энергии влечет за собой увеличение утечек и непроизводительных расходов воды. Кроме того, потери энергии в насосных установках имеют место из-за использования насосного и гидромеханического оборудования, не соответствующего реальным режимам работы системы водоподачи или водоотведения.

Насосные установки работают с повышенным напором из-за увеличения гидравлического сопротивления системы трубопроводов, колебаний уровня жидкости в приемных и напорных резервуарах, а также из-за несоответствия режиму работы насосов режима притока или потребления жидкости.

Наиболее энергоэффективно применение частотно-регулируемых электромеханических систем при работе их с исполнительными механизмами – насосами. Кроме того, применение этих систем является одним из эффективнейших способов расхода холодной и горячей воды, а также обеспечивает увеличение срока службы электрооборудования и трубопроводов ввиду отсутствия бросков тока в пусковых режимах. Его применение позволяет производить плавный разгон и остановку мощных насосных агрегатов, исключая появление гидроударов в трубопроводе при запуске в работу нового двигателя. Очень важно, что частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭ) позволяет плавно регулировать производительность насоса и, следовательно, значение выходного напора насосной установки.

Применение асинхронного ЧРЭ для управления насосными агрегатами обеспечивает ряд преимуществ:

- ✓ экономия электроэнергии за счет оптимизации энергопотребления электропривода при изменении значения регулируемого параметра;
- ✓ плавный пуск электродвигателя, отсутствие механических нагрузок на двигатель и бросков тока в сети;
- ✓ эффективное использование потребляемой насосным агрегатом мощности во всем диапазоне регулирования.

Другой способ обеспечения энергосбережения при применении насосных агрегатов – использование специальных энергосберегающих асинхронных двигателей. Эти энергетически эффективные двигатели специально спроектированы, используют более качественные электротехнические стали, позволяющие уменьшить активные потери .

Энергоэффективные двигатели имеют более высокий КПД и уровень надежности, менее чувствительны к колебаниям напряжения сети и имеют более низкий уровень шума и вибрации.

Таким образом можно сделать вывод, что энергосбережение в насосных агрегатах с асинхронными двигателями возможно осуществить следующими способами: применением регулируемого электропривода для изменения частоты вращения, использованием специально разработанных энергосберегающих асинхронных двигателей. Во втором случае существенно повышается надежность асинхронного двигателя, снижается уровень шума и вибрации и экономические затраты на их обслуживание и ремонт.

Список литературы

9. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладычев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочное пособие: в 2 книгах. Книга 1 / под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 688 с.
10. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
11. Гловацкий А.В., Кубарев Л.П., Макаров Л.Н. Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем на их основе // Журнал «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА».

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Немцов К.В.

Научный руководитель: Осадченко А. А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: alligator_85@inbox.ru

При размыкании контактов, между ними возникает электрическая дуга, которая поддерживает высокую проводимость межконтактного промежутка и позволяет току протекать между контактами. Это вызывает подогрев среды межконтактного промежутка до довольно высокой температуры для диссоциации (разложения) ее молекул и ионизации промежутка.

Существование электрической дуги характеризуется квазиравновесным состоянием, при котором напряжение дуги саморегулируется на уровне, достаточном для поддержания проводимости образующейся плазмы, а диаметр столба дуги сжимается или расширяется, в зависимости от изменения величины протекающего тока. Выделяющаяся при этом энергия отдается в окружающую среду посредством теплопроводности, конвекции и излучения. Этот энергетический баланс должен быть разрушен, если необходимо подавить дугу и прервать протекание тока. При достижении током естественного нуля приток энергии из сети прекращается, если в этот момент интенсивно охлаждать межконтактный промежуток, то можно погасить дугу, нарушить проводимость промежутка и восстановить его электропрочность, тем самым, осуществив отключение.



Фотография электрической дуги в межконтактном промежутке при токе 15-20 кА

Охлаждение должно быть очень быстрым, чтобы скорость подавления остаточной дуги и восстановления электропрочности промежутка превышала скорость роста переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН). Если контакты размыкаются в вакууме, весь ток устремляется к последней оставшейся точке контакта, вызывая интенсивный местный нагрев в этой точке. При дальнейшем разведении контактов формируется мостик из расплавленного металла, который, вследствие огромной плотности тока в нем, мгновенно разогревается и взрывается, создавая дугу в среде ионизированных металлических паров, образовавшихся в результате взрыва. Ионизированный металлический пар является хорошим проводником тока, и в межэлектродном промежутке начинается устойчивый дуговой разряд. Таким образом, вакуумная дуга представляет собой, на самом деле, дугу в среде металлического пара. Носители тока попадают в межэлектродный промежуток с катода через множественные точечные источники тока, называемые катодными пятнами.

В последние годы мировая практика электроаппаратостроения ориентируется на направление, связанное с применением новых нетрадиционных видов изоляции для достижения компактности, лучших массогабаритных показателей и лучших эксплуатационных характеристик электрооборудования. В области создания коммутационных аппаратов наметилась четкая тенденция использования новых дугогасящих сред. Для электрических сетей напряжением 6–35 кВ в настоящее время доминирующими стали вакуумные выключатели (ВВ). Доля ВВ в общем количестве выпускаемых аппаратов в странах Европы и США достигает 70%, в Японии – 100%. В России в последние годы эта доля имеет постоянную тенденцию к росту и в настоящее время составляет около 50%.

Также широко используются ВВ 6–10 кВ в схемах управления электродвигателями (ЭД), в том числе и в схемах собственных нужд (СН) компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов, нефтеперекачивающих станций (НПС), газоперерабатывающих заводов (ГПЗ) и заводов, перерабатывающих попутный газ. Необходимость частых коммутаций некоторых групп электродвигателей на перечисленных объектах, обусловленная технологией производства, транспортировкой и переработкой газа, предопределяет использование именно вакуумной техники.

К **основным достоинствам** вакуумных выключателей следует отнести:

1. Высокая износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Число отключений номинальных токов вакуумным выключателем (ВВ) без замены ВДК составляет 10–50 тыс. Число отключений номинального тока отключения – 20–200 что в 10–20 раз превышает соответствующие параметры маломасляных выключателей.

2. Резкое снижение эксплуатационных затрат по сравнению с маломасляными выключателями. Обслуживание ВВ сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам 1 раз в 5 лет или через 5–10 тыс. циклов «включение-отключение».

3. Полная взрыво- и пожаробезопасность и возможность работы в агрессивных средах.

4. Широкий диапазон температур окружающей среды, в котором возможна работа ВДК.

5. Повышенная устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам вследствие малой массы и компактной конструкции аппарата.

6. Произвольное рабочее положение и малые габариты, что позволяет создавать различные компоновки распределительных устройств, в том числе и шкафы с несколькими выключателями при двух-трехъярусном их расположении.

7. Бесшумность, чистота, удобство обслуживания, обусловленные малым выделением энергии в дуге и отсутствием выброса масла, газов при отключении токов КЗ.

8. Отсутствие загрязнения окружающей среды.

9. Высокая надежность и безопасность эксплуатации, сокращение времени на монтаж.

Основные недостатки вакуумных выключателей:

1. Повышенный уровень коммутационных перенапряжении, что в ряде случаев вызывает необходимость принятия специальных мер по защите оборудования.

1. Небольшой ресурс дугогасительного устройства по отключению токов короткого замыкания.

2. Сравнительно небольшие номинальные токи и токи отключения

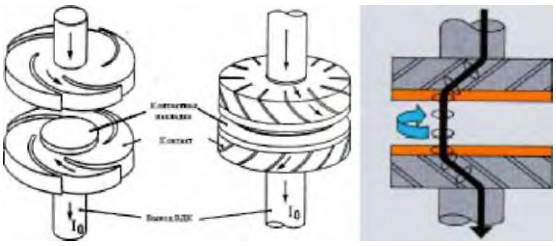
3. При разгерметизации вакуумной камеры мгновенный выход из строя

Способы улучшения коммутационных свойств вакуумных дугогасительных камер

1. Необходимый уровень вакуума в ВДК (при расстоянии между электродами 6 мм) должен быть не менее 10^{-4} мм рт. ст. Один из способов улучшения коммутационных свойств вакуумной камеры – это изготавливать ее с запасом по давлению вакуума, которое достигает 10^{-6} мм рт. ст.

2. Использование в вакуумных камерах электрических контактов из псевдосплавов системы Cu–Cr. Псевдосплавы – материалы с ограниченной взаимной растворимостью, представляют большой интерес и с точки зрения их приложений, и в качестве уникальных объектов для исследования физико-химических деформационных процессов, происходящих на межфазных и межзеренных границах.

3. Изменение конструкции контактной системы вакуумной камеры.



Контактные системы с радиальным магнитным полем

Список литературы

1. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки / Л.И. Тучинский. – М.: Металлургия, 1986. – 206 с.: ил. – Библиогр.: с. 200–207.
2. Попов Н.А. Вакуумные выключатели: состояние и перспективы развития / Н.А. Попов. – М.; Л.: Энергия, 1965. – 112 с. : ил. – Библиогр.: с. 107–112.
3. www.tavrida.ee – сайт компании TAVRIDA-ELECTRIC.
4. Копылов Р.В. Исследование и разработка комплекса мер, повышающих надежность эксплуатации изоляции сетей собственных нужд электрических станций и высоковольтного электрооборудования компрессорных станций : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Спец. 05.14.12 / Р.В. Копылов; Новосибирский государственный технический университет; науч. рук. К.П. Кадомская. – Защищена в 2003 г. – Новосибирск, 2003. – 127 л. : ил. – Библиогр.: с. 124–127 (34 назв.).
5. Василенко, В.Н. Привод ручного оперативного включения вакуумных выключателей [Электронный ресурс] / В.Н. Василенко, В.А. Лавринович. – Электронные текстовые данные (1 файл: 2.8 Мб) // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск, 2005. – Т. 308, № 2. – [С. 136–137]. – (Технические науки). – Заглавие с титульного листа. – Электронная версия печатной публикации. – [Библиогр.: с. 137 (2 назв.)]. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader. – URL:http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2005/v308/i2/31.pdf.

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Нехлебова С.Г.

Научные руководители: Семыкина И.Ю., к.т.н.,

Кузбасский государственный технический университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: ja-cveta@mail.ru

Современный подход к проектированию и разработке автоматизированных электроприводов как обязательный этап, предшествующий созданию опытного образца, включает в себя компьютерное моделирование.

Моделирование трехфазного асинхронного двигателя (АД) представляет собой сложную задачу, поскольку необходимо учитывать особенности его функционирования, такие как насыщение магнитной цепи, вихревые токи, возможность ра-

боты в неполнофазном режиме и т. д. Кроме того нужно обеспечить удобство анализа процессов происходящих в АД.

Большинство исследователей, как, например, [1], для построения модели АД используют уравнения обобщенной электрической машины, подробно изложенной в [2], в которой статор и ротор представляет собой независимые двухфазные обмотки. Существуют работы, в которых статор двигателя представлен трехфазной обмоткой, а ротор – двухфазной [3,4], но этот подход усложняет использование для исследований универсальной модели, подходящей как АД с короткозамкнутым ротором, так и с фазным ротором, обмотка которого – трехфазная. Помимо описанных, существуют модели, которые строятся на основании схемы замещения трехфазного АД [5], но при их построении используются передаточные функции, для получения которых производится линеаризация зависимости постоянной времени обмотки ротора от скольжения, что ограничивает применение такой модели.

Математическая модель, представленная в данной работе, построена, опираясь на физический смысл электромеханического преобразования энергии, и базируется на [6]. Основой для построения послужила система дифференциальных уравнений:

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{\psi}_1 = \mathbf{u}_1 - \mathbf{i}_1 R_1;\ \frac{d}{dt}\boldsymbol{\psi}_2 = \mathbf{e}_2 - \mathbf{i}_2 R_2, \qquad (1)$$

где $\mathbf{u_1}$ – вектор напряжения, подводимого к статору; $\mathbf{e_2}$ – вектор ЭДС вращения ротора; $\mathbf{i_1}$, $\mathbf{i_2}$ – векторы токов статора и ротора соответственно; $\boldsymbol{\psi_1}$, $\boldsymbol{\psi_2}$ – векторы потокосцепления статора и ротора; R_1, R_2 – сопротивления обмоток статора и ротора;

$$\mathbf{u}_1 = \begin{bmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \\ u_{1c} \end{bmatrix};\ \mathbf{u}_2 = \begin{bmatrix} e_{2a} \\ e_{2b} \\ e_{2c} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{i}_1 = \begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{1b} \\ i_{1c} \end{bmatrix};\ \mathbf{i}_2 = \begin{bmatrix} i_{2a} \\ i_{2b} \\ i_{2c} \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{\psi}_1 = \begin{bmatrix} \psi_{1a} \\ \psi_{1b} \\ \psi_{1c} \end{bmatrix};\ \boldsymbol{\psi}_2 = \begin{bmatrix} \psi_{2a} \\ \psi_{2b} \\ \psi_{2c} \end{bmatrix}.$$

Величина вектора $\mathbf{e_2}$ зависит от $\boldsymbol{\psi_2}$:

$$\mathbf{e}_2 = -jp\omega\boldsymbol{\psi}_2,$$

где p – число пар полюсов; ω – угловая скорость ротора.

Таким образом, уравнения (1) дополняются выражениями:

$$e_{2a} = \frac{p\omega}{\sqrt{3}}(\psi_{2c} - \psi_{2b});$$

$$e_{2b} = \frac{p\omega}{\sqrt{3}}(\psi_{2a} - \psi_{2c});$$

$$e_{2c} = \frac{p\omega}{\sqrt{3}}(\psi_{2b} - \psi_{2a}),$$

Для построения компьютерной модели, дифференциальные уравнения (1) необходимо дополнить уравнениями магнитной связи, которые должны содержать коэффициенты взаимной индуктивности между каждой из фаз обмоток двигателя, как статора так и ротора. Данные уравнения в общем виде приводятся, например, в [7], однако конкретные выражения для взаимных индуктивностей не представлены, поскольку с целью упрощения осуществляется переход от трехфазной модели АД к двухфазной.

Исходя из физического смысла, опираясь на [6] составим необходимые уравнения. Они могут быть выражены в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{\psi}_1 \\ \boldsymbol{\psi}_2 \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\mathbf{L}\begin{bmatrix} \mathbf{i}_1 \\ \mathbf{i}_2 \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{L}$ – матрица коэффициентов магнитной связи;

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} L_1 & -\frac{1}{2}L_1 & -\frac{1}{2}L_1 & L_m & -\frac{1}{2}L_m & -\frac{1}{2}L_m \\ -\frac{1}{2}L_1 & L_1 & -\frac{1}{2}L_1 & -\frac{1}{2}L_m & L_m & -\frac{1}{2}L_m \\ -\frac{1}{2}L_1 & -\frac{1}{2}L_1 & L_1 & -\frac{1}{2}L_m & -\frac{1}{2}L_m & L_m \\ L_m & -\frac{1}{2}L_m & -\frac{1}{2}L_m & L_2 & -\frac{1}{2}L_2 & -\frac{1}{2}L_2 \\ -\frac{1}{2}L_m & L_m & -\frac{1}{2}L_m & -\frac{1}{2}L_2 & L_2 & -\frac{1}{2}L_2 \\ -\frac{1}{2}L_m & -\frac{1}{2}L_m & L_m & -\frac{1}{2}L_2 & -\frac{1}{2}L_2 & L_2 \end{bmatrix};\ L_1$$

, L_2 – полные индуктивности обмоток статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность.

Для создания компьютерной модели на основе представленных уравнений можно использовать метод Гаусса, но для практического применения всегда удобнее иметь аналитические выражения. Для трехфазного АД эти выражения имеют вид:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{i}_1 \\ \mathbf{i}_2 \end{bmatrix} = \frac{\varsigma}{3}\mathbf{M}\begin{bmatrix} \boldsymbol{\psi}_1 \\ \boldsymbol{\psi}_2 \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где ς – коэффициент рассеяния; $\mathbf{M}$ – обратная матрица коэффициентов магнитной связи;

$$\varsigma = \frac{1}{L_1 L_2 - L_m{}^2};$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 2L_2 & -L_2 & -L_2 & -2L_m & L_m & L_m \\ -L_2 & 2L_2 & -L_2 & L_m & -2L_m & L_m \\ -L_2 & -L_2 & 2L_2 & L_m & L_m & -2L_m \\ -2L_m & L_m & L_m & 2L_1 & -L_1 & -L_1 \\ L_m & -2L_m & L_m & -L_1 & 2L_1 & -L_1 \\ L_m & L_m & -2L_m & -L_1 & -L_1 & 2L_1 \end{bmatrix}.$$

Для построения модели механической части АД воспользуемся уравнением движения одномассовой системы:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_c}{J}, \qquad (3)$$

где M – электромагнитный момент двигателя; M_c – момент сопротивления на валу двигателя; J – момент инерции ротора.

Значение электромагнитного момента трехфазного АД определяется по формуле:

$$M = \frac{1}{\sqrt{3}}pL_m(i_{1b}i_{2a} - i_{1b}i_{2c} - i_{1c}i_{2a} + i_{1c}i_{2b} - i_{1a}i_{2b} + i_{1a}i_{2c}).$$

Таким образом, уравнения (1)–(3) представляют собой полную математическую модель трехфазного АД, с помощью которой была создана компьютерная модель в среде программирования *Delphi*. Ее структура показана на рис. 1, а внешний вид программного продукта показан на рис. 2. Приведенные результаты соответствуют АД марки 4А80А4У3.

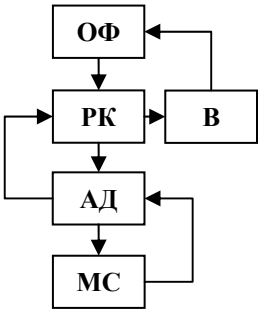


Рис. 1. Структурная схема компьютерной модели АД: ОФ – обработка событий формы; РК – численное решение дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта; АД – математическая модель АД (1), (3); МС – уравнения магнитной связи (3); В – визуализация результатов

Разработанный программный продукт позволяет исследовать АД в различных режимах, визуально отображать информацию об объекте исследования и сохранять её в виде графиков в файлы формата *.emf. Дополнительно он имеет возможность загружать служебные файлы *.ini, содержащие информацию о параметрах двигателя. Таким образом, созданный программный продукт позволяет проводить вычислительные эксперименты с использованием приведенной математической модели и исследовать различные законы регулирования.

Полученные в ходе вычислительных экспериментов с компьютерной моделью данные подтвердили адекватность приведенной математической модели в сравнении с двухфазной моделью АД, адекватность которой подтверждена многочисленными практическими применениями.

Таким образом, была создана модель трехфазного АД, которая удобна для анализа происходящих в ней процессов. Модель проста в реализации и практически не ограничена в применении.

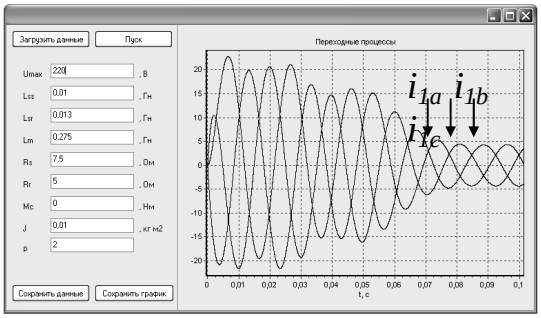


Рис. 2. Внешний вид программного продукта

Список литературы

1. Ещин Е. К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 247 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов.– 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург.: УРОН РАН, 2000. – 654 с.
4. Уайт Д.С. Электромеханическое преобразование энергии / Д.С. Уайт, Г.Х. Вудсон; перев. с англ. – М. – Л.: Энергия, 1964. – 528 с.
5. Войнова Т. В. Математическая модель для исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта регулирования и для прямого процессорного управления // Электротехника, 1998. – № 6. – С. 51–61.
6. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока / К.П. Ковач, И. Рац. – М.: Гос энергоиздат, 1963. – 744 с.
7. Герман-Галкин С. Г. компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

МАНИПУЛЯТОР В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ни А.Э., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: iscanderaga@rambler.ru

Производство художественных изделий как и любое производство может механизироваться и автоматизироваться. Одно из перспективных направлений создание манипуляторов, которые могут расширить возможности художника в производстве своих изделий.

В настоящее время манипуляторы имеет широкую сферу применения. Наиболее распространенные манипуляторы это краны – универсальные машины, способные поднимать огромные грузы. Отдельные виды манипуляторов могут работать в труднодоступных местах или местах, где не может работать человек.

«Манипуля́тор – механизм для управления пространственным положением орудий, объектов труда и конструкционных узлов и элементов.» [1]

В соответствии с этим определением цепь работы манипулятора может быть выражена так: человек – манипулятор – объект.

Кроме того, это определение трудно применить к такому объекту, например, как «манипуля́тор «мышь» (в обиходе просто «мышь» или

«мышка») – одно из указательных устройств ввода, обеспечивающее интерфейс пользователя с компьютером.» Определение взято из того же источника [1], но входит в противоречие с определением «манипулятора».

Изобразим цепь работы манипулятора по-другому: человек – контроллер – исполнительный орган – объект. В этой цепи два элемента (контроллер – исполнительный орган) составляют собственно манипулятор. В соответствии с этим определением цепи работы манипулятора манипулятор-мышь является фактически контроллером. Под контроллером упрощённо будем понимать устройство, с помощью которого движение руки человека преобразуются в электрический сигнал (информацию в электронном виде), служащий для управления исполнительным органом.

Обобщая изложенное, можно дать новое определение. Манипулятор – это совокупность пространственного рычажного механизма и системы приводов, осуществляющая под управлением человека-оператора, действия (манипуляции), аналогичные действиям руки человека.

В настоящее время развивается производство управляемых протезов. Главной целью протезов является замена утраченной части тела человека. Цепь работы таких протезов приближается к указанной выше цепи работы манипулятора, но с некоторыми отличиями. В одних вариантах есть элемент – контроллер, приводимый в действие какой-либо частью тела человека. В других вариантах роль контроллера выполняет процессор, преобразующий импульсы мозга человека в сигналы, управляющие исполнительными органами, которыми являются имитаторы конечностей человека. Другими словами, управляемый протез – это тоже манипулятор.

Сегодня в мире используются миллионы роботов. Применение им нашлось почти во всех сферах человеческой деятельности.

Робот – устройство, состоящее из механического манипулятора и перепрограммируемой системы управления. На рис. 1. представлена упрощённая блок-схема робота.

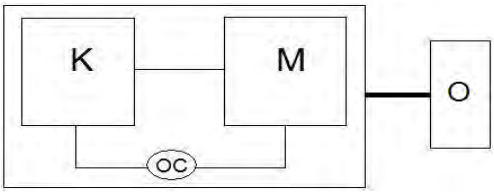


Рис. 1. Простейшая блок-схема робота: К – компьютер; М – манипулятор; ОС – обратная связь; О – объект.

Цепь работы робота отличается от цепи работы манипулятора тем, что роль человека исполняет компьютер, поэтому исчезает необходимость в контроллере, и манипулятор в роботе – это исполнительный орган. Цель создания роботов: 1) вывести человека из опасной зоны; 2) облегчение труда человека. Задача, решаемая роботом – выполнять определенные движения исполнительного органа с определенной точностью и определённой скоростью.

Проанализируем теперь возможности манипуляторов в производстве художественных изделий.

Простой пример – манипулятор-мышь, который позволяет перемещать курсор по экрану монитора. Рассмотрим два изображения, выполненные одним и тем же человеком. Первое изображение (рис. 2) нарисовано с помощью простого карандаша, а второе (рис. 3) выполнено с помощью манипулятора-мыши.



Рис. 2



Рис. 3

Изображение (рис. 2), сделанное при помощи простого карандаша, имеет видимость всех элементов, оттенков, можно сказать, что передана вся полнота изображения. Взгляд утонченный и загадочный.

В картинке (рис. 3), выполненной при помощи манипулятора-мыши, из-за отсутствия плавности движений, взгляд получился дерзким, холодным, При сравнении изображений возникает такое ощущение, будто данные изображения были выполненные двумя разными людьми.

Указанный эксперимент проводился на самом простом манипуляторе. В данном примере роль исполнительного элемента выполнял монитор, инерционностью которого естественно можно пренебречь. Сказывалась только погрешность контроллера – «мыши». Но даже в таком варианте манипулятора имелось расхождение в получаемых результатах. Отметим только, что обе работы авторские и выполнены виртуозно.

В отличие от обычного манипулятора, целью которого является выведение человека из опасной зоны и облегчение его труда, манипулятор для выполнения художественных работ должен:

1. Передавать замысел (стиль) художника.
2. Тиражировать художественный объект.

Если для достижения указанной цели мы хотим учесть динамические особенности художника, то при создании робота, имитация рук человека должна учитывать все механические особенности руки. Подход такой же, как и в биомеханике. Наибольшее приближение манипулятора к руке человека в плане движений, динамики и мощности добились германские специалисты, которые создали руку-манипулятор. Называется это творение «Airic’s arm». Это рука и прилегающая часть спины. В этой руке инженеры воссоздали в металле и пластике практически все кости руки и плеча человека, включая лопатку.

А приводят эту систему в движение «Жидкостные мускулы» числом 32 штуки. Это приблизи-

тельно вдвое меньше, чем в настоящей руке и плечевом поясе. Искусственные мускулы в новом роботе подражают в размерах и по расположению настоящим мышцам.

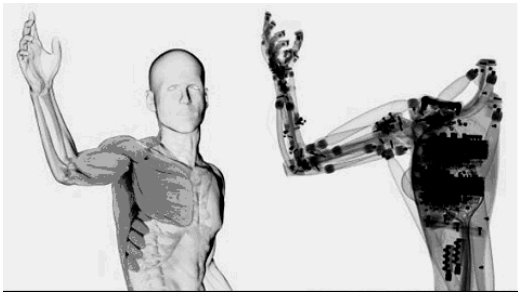


Рис. 4

Движения такого протеза выполняются с какой-то точностью, контролируемой человеком. В этом случае важна не абстрактная точность, а то, что движения передают особенности человека. Человек и протез образуют единое целое. Всё, что они создадут, будет иметь авторский отпечаток.

В указанную ранее цепь работы манипулятора можно ввести дополнительный элемент – записывающее устройство (в компьютере – запоминающее устройство) Тогда цепь примет вид: человек – контроллер – записывающее устройство исполнительный механизм – объект

Человек, управляя манипулятором, изготовляет какой-то художественный объект Записывающее устройство фиксирует все движения манипулятора в том же ритме (в той же динамике). Следовательно, возможно тиражировать объект без участия человека, но с передачей его особенностей в рамках системы конкретного манипулятора. Например, можно осуществлять лазерную резку труб (рис. 5).

Лазерная резка – один из самых современных и удобных способов резки труб. С ее помощью можно с максимальной точностью и минимальными затратами времени разрезать трубу так, как это необходимо. Также лазерная резка позволяет выполнять различные узоры непосредственно на трубах, причем рисунок получается четким. [2]



Рис. 5. Образец лазерной резки



Рис. 6



Рис. 7

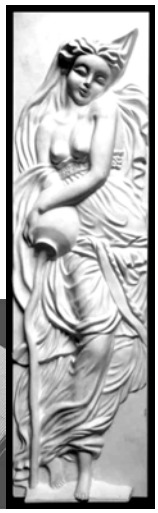


Рис. 8

Другой подход осуществления и тиражирования художественных работ заключается в следующем. Художник делает барельеф (рис. 6). Затем барельеф сканируется на объёмном сканере (рис. 7 – виртуальная деталь). Получается программа для объёмной механической обработки тиражируемого образца (рис. 8). [3]

Список литературы

1. ru.wikipedia.org/wiki
2. www.desktopcnc.com.
3. www.bathsheba.com.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ НА ПУСКОВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Паюк Л.А

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lubapa81@mail.ru

Пусковые режимы являются сложными переходными процессами, при которых вращательный момент может достигать 15 – кратной величины от номинального значения, а ток – трехкратной величины установившегося тока короткого замыкания [1]. В настоящее время существует достаточно большое количество электроприводов и электродвигателей колебательного движения с различной функционально-структурной организацией, которые нашли своё применение в различных областях, от устройств сканирования в портативных устройствах, до прогнозирования поведе-

ния земной коры [2]. Поэтому оценка влияния частоты колебания при пуске электропривода переменного тока, работающего в колебательном режиме при разночастотном питании, является актуальной задачей.

Аналитические зависимости тока статора и ротора в операторной форме, при условии несимметрии электрической машины, можно записать как:

$$i_1(p)=\frac{U_m\begin{bmatrix}p\alpha_1\begin{pmatrix}p^2(L_{\alpha s}L_{\alpha r}-2L_m)+\\+p(R_{\alpha s}L_{\alpha r}+R_{\alpha r}L_{\alpha s})+\\+R_{\alpha s}R_{\alpha r}\end{pmatrix}-\\-L_m\alpha_3 p(R_{\alpha s}+L_{\alpha r}p)\end{bmatrix}}{p^2\left(L_{\alpha s}L_{\alpha r}+L_m^2\right)+p(R_{\alpha r}L_{\alpha s}+R_{\alpha s}L_{\alpha r})+R_{\alpha s}R_{\alpha r}}+$$

$$+j\frac{\alpha_4\omega(R_{\beta s}+L_{\beta s}p)}{(\omega+\Omega)\left(p^2\left(L_{\beta s}L_{\beta r}+L_m^2\right)+p\left(R_{\beta r}L_{\beta s}+R_{\beta s}L_{\beta r}\right)+R_{\beta s}R_{\beta r}\right)}$$

$$i_2(p)=\frac{U_m p^2(\alpha_3(R_{\alpha s}+L_{\alpha s}p)-\alpha_1 L_m)}{\left(p^2+(\omega+\Omega)^2\right)\left((R_{\alpha r}+L_{\alpha r}p)-L_m^2p\right)}-$$

$$-j\frac{\left(\alpha_4\omega-\alpha_2L_m^2p^2(\omega+\Omega)\right)}{(2\omega-\Omega)\left(p^2\left(L_{\beta s}L_{\beta r}-L_m^2\right)+p\left(R_{\beta s}L_{\beta r}+R_{\beta r}L_{\beta s}\right)+R_{\beta s}R_{\beta r}\right)}.$$

Здесь U_m – амплитудное значение напряжения питания, α_i – коэффициенты сигналов, p – оператор Лапласа, $R_{\alpha s}, R_{\beta s}, R_{\alpha r}\ R_{\beta r}$, $L_{\alpha s}, L_{\beta s}$, $L_{\alpha r}$, $L_{\beta r}$ – активные сопротивления и индуктивности обмоток фаз статора и ротора по осям α и β, L_m – взаимоиндуктивность обмоток статора и ротора, ω, Ω – номинальная угловая частота питающей сети и колебаний подвижного элемента двигателя.

С учётом корней характеристических уравнений и функций регулирования во временной плоскости пусковые токи примут следующий вид:

$$I_{\alpha s}(t)=I_{\alpha s0}\sin\left[\omega_1 t-arctg\left[\frac{\omega_1\left(L_{\alpha r}\left(\gamma_1\gamma_2-\omega_1^2\right)-R_{\alpha r}\left(\gamma_1+\gamma_2\right)\right)}{R_{\alpha r}\left(\gamma_1\gamma_2-\omega_1^2\right)+L_{\alpha r}\left(\gamma_1+\gamma_2\right)\omega_1^2}\right]\right]+$$

$$+I_{\alpha s1}e^{-\gamma_1 t}+I_{\alpha s2}e^{-\gamma_2 t};$$

$$I_{\beta s}(t)=I_{\beta s0}\cos\left[\omega_2 t-arctg\left[\frac{\omega_2\left(L_{\beta r}\omega_2^2(\gamma_3+\gamma_4)-R_{\beta r}\left(\gamma_3\gamma_4-\omega_2^2\right)\right)}{\omega_2^2(R_{\beta r}(\gamma_3+\gamma_4)+L_{\beta r}(\gamma_3\gamma_4-\omega_2^2))}\right]\right]+$$

$$+I_{\beta s1}e^{-\gamma_3 t}+I_{\beta s2}e^{-\gamma_4 t};$$

$$I_{\alpha r}(t)=I_{\alpha r0}\sin\left[\omega_1 t-arctg\left[\frac{\gamma_1\gamma_2-\omega_1^2}{\omega_1(\gamma_1+\gamma_2)}\right]\right]+ \qquad (1)$$

$$+I_{\alpha r1}e^{-\gamma_1 t}+I_{\alpha r2}e^{-\gamma_2 t};$$

$$I_{\beta r}(t)=I_{\beta r0}\sin\left[\omega_2 t-arctg\left[\frac{(\gamma_3+\gamma_4)\omega_2^2}{\omega_2^2-\gamma_3\gamma_4}\right]\right]+$$

$$+I_{\beta r1}e^{-\gamma_3 t}+I_{\beta r2}e^{-\gamma_4 t},$$

где ω_1, ω_2 – угловые частоты питания статора и ротора, $\omega_2=\omega_1+\Omega$, $I_{\alpha s0}, I_{\beta s0}, I_{\alpha r0}, I_{\beta r0}$ – амплитуды режима установившегося короткого замыкания вынужденных составляющих токов, $I_{\alpha s1}, I_{\alpha s2}, I_{\beta s1}, I_{\beta s2}, I_{\alpha r1}, I_{\alpha r2}, I_{\beta r1}, I_{\beta r2}$ – амплитуды составляющих свободных токов с коэффициентами затухания, соответственно γ_i, выраженные через параметры электрической машины и функции регулирования.

Тогда, колебательный пусковой электромагнитный момент с учётом [3] и выражений для токов вида (1), может быть представлен в следующем виде:

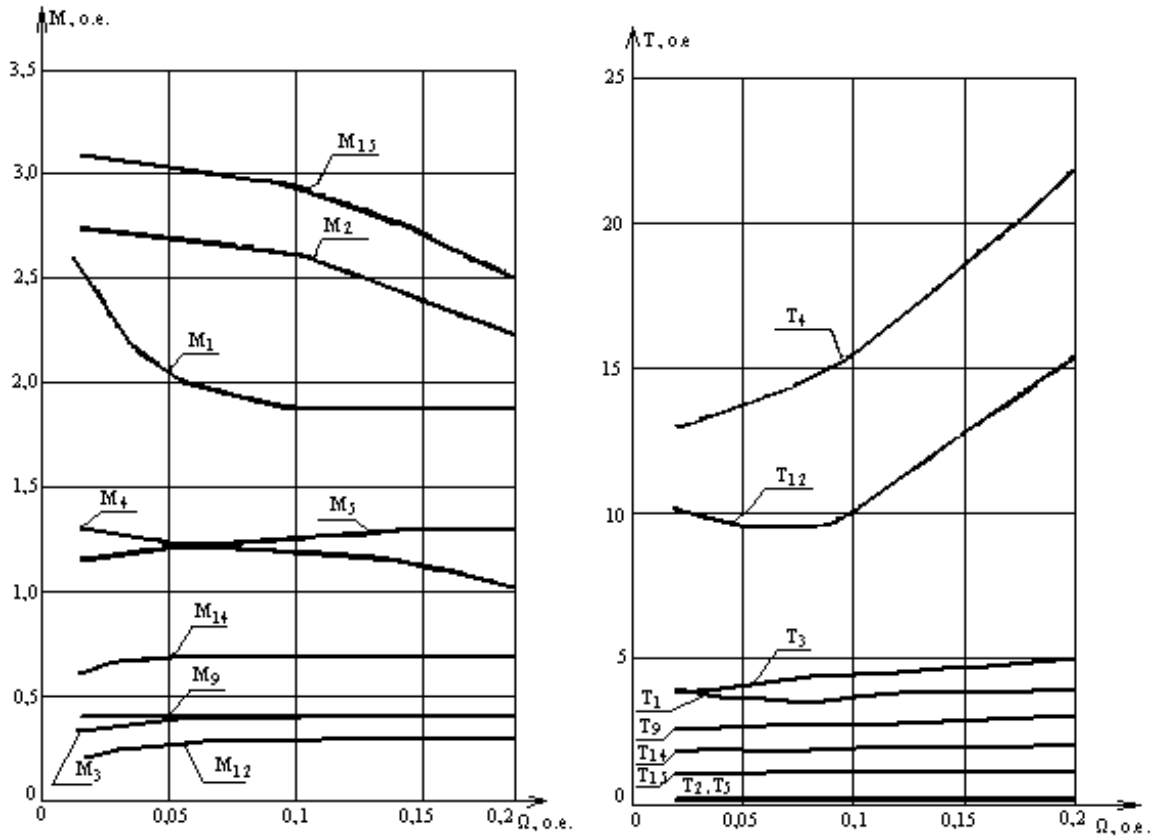
$$M_{пуск}(t)=M_{01}\cos[\Theta_4]\sin[\Theta_1]+M_{02}\cos[\Theta_2]\sin[\Theta_3]+$$
$$+M_1\sin[\Theta_1]e^{-\gamma_3 t}+M_2\sin[\Theta_1]e^{-\gamma_4 t}+M_3\cos[\Theta_4]e^{-\gamma_1 t}+$$
$$+M_4e^{-\gamma_1' t}+M_5e^{-\gamma_2' t}+M_6\cos[\Theta_4]e^{-\gamma_2 t}+M_7e^{-\gamma_3 t}+$$
$$+M_8e^{-\gamma_4 t}+M_9\sin[\Theta_3]e^{-\gamma^3 t}+M_{10}\sin[\Theta_3]e^{-\gamma_4 t}+$$
$$+M_{11}\cos[\Theta_2]e^{-\gamma_1 t}+M_{12}e^{-\gamma_1' t}+M_{13}e^{-\gamma_2' t}+$$
$$+M_{14}\cos[\Theta_2]e^{-\gamma_1 t}+M_{15}e^{-\gamma_3' t}+M_{16}e^{-\gamma_4' t}, \qquad (2)$$

где M_{01}, M_{02} – амплитуды вынужденных составляющих электромагнитного момента, M_i – амплитуды свободных составляющих момента с коэффициентами затухания γ_i и γ_i', Θ_i – начальные фазы при соответствующих аргументах вынужденных и свободных составляющих.

Выражения (2) позволяют оценить весовой вклад низкочастотных составляющих колебательного электромагнитного момента на закон изменения подвижного элемента двигателя при изменении частоты колебаний. Рис. 1 иллюстрирует результаты расчётов, здесь не представлены гармонические составляющие: M_6, M_7, M_8, M_{10}, M_{11}, M_{13}, M_{16} в виду их малости почти на порядок по сравнению с остальными составляющими. Они не прогрессируют при изменении частоты колебаний колебательного электропривода Ω и не определяю характер переходных процессов.

Анализ влияния частоты колебаний на вынужденные составляющие электромагнитного момента КЭП показал, что на формирование ударного значения наибольшее влияние оказывают составляющие M_1, M_2, M_{15} (18–29 %), а на время затухания – M_4, M_{12} (69% и 50% соответственно).

В качестве сравнения на рис. 2. представлены временные зависимости электромагнитного момента при полном учёте всех составляющих (кривая 1) и с учётом только M_1, M_2, M_{15}, M_4, M_{12} (кривая 2).



а) б)

Рис. 1. Зависимости амплитуд: а) и постоянных времени затухания; б) составляющих пускового момента от частоты колебаний Ω

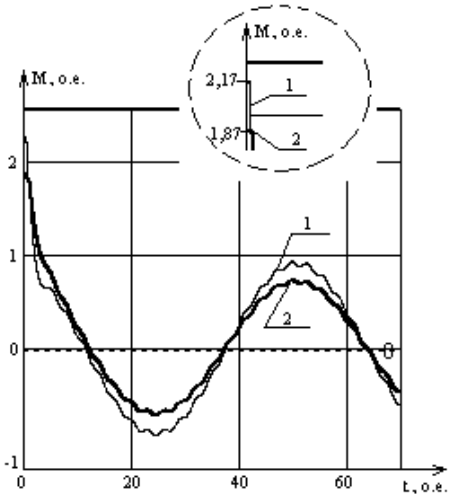


Рис. 2. Временные зависимости пускового электромагнитного момента: 1 – все составляющие; 2 – составляющие: M_1, M_2, M_{15}, M_4, M_{12}

В заключение отметим, что при учёте выше указанных составляющих электромагнитного момента его ударное значение на 13% меньше, чем при полном учёте всех составляющих. Это говорит о том, что данная методика оценки влияния частоты колебаний колебательного электропривода позволяет определить изменения электромагнитного момента двигателя в полной мере.

Список литературы

1. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.
2. Аристов, А.В. Машина двойного питания, как общий случай электродвигателя колебательного движения: автореф. дисс. на соискание ученой степени д.т.н. / А. В. Аристов. – Томск: Б.и., 2001. – 44 с.
3. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ ПРИ ЗАДАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Поздеев Л.В., Целищев Г.П.

ОАО «НПЦ «Полюс», 634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»
E-mail: POLUS@ONLINE.TOMSK.NET

С целью рационального использования резинометаллических амортизаторов в системах амортизации корабельного оборудования параметры их должны быть определены в режимах, соответствующих реальным условиям эксплуатации [1].

В ряде случаев, когда основной целью амортизации является вибро- и звукоизоляция объекта от фундамента, амплитуда вибронагружения амортизаторов в номинальном режиме работы изделия настолько мала, что воспроизвести её без использования специальных испытательных установок не представляется возможным. Так, уровни вибрации малошумного судового оборудования, к примеру центробежных электровентиляторов, в номинальном режиме работы составляют десятые доли микрометра.

Важно определение параметров резинометаллических амортизаторов при любом уровне деформации.

При расчётах используются механические характеристики (параметры) амортизаторов, приведённые в технических условиях на выбранный тип:

- номинальная статическая нагрузка P_X, P_Y, P_Z в трёх взаимно перпендикулярных направлениях, Н;
- резонансная частота $f_р$ оборудования, Гц;
- статическая C_X, C_Y, C_Z, динамическая (ударная) $C_{Xу}$, $C_{Yу}$, $C_{Zу}$ и вибрационная $C_{Xв}$, $C_{Yв}$, $C_{Zв}$ жёсткость, соответствующая деформированию амортизатора в направлении его осей, Н/м;
- механическое сопротивление Z_X, Z_Y, Z_Z, Н·с/м.

Статическую жёсткость амортизаторов определяют по уровню осадки в момент достижения номинального значения нагрузки.

Вибрационная жесткость и механическое сопротивление рассчитываются по амплитудно-частотным характеристикам, получаемым при номинальной статической нагрузке амортизаторов из соотношений [2, 3],

$$C = \omega_р^2 M = (2\pi f_р)^2 \frac{P}{g};$$

$$Z = \frac{F}{V} = \frac{Ma}{\omega_р \delta} = \omega_р M = 2\pi f_р \frac{P}{g},$$

где $\omega_р$ – круговая резонансная частота; M – масса эквивалента нагрузки, нагружающего амортизатор; $f_р$ – резонансная частота эквивалента нагрузки на амортизаторах; P – номинальная статическая нагрузка, кгс; g – ускорение свободного падения, м/с^2; F – сила, нагружающая амортизатор; V – скорость системы; a – ускорение, сообщаемое эквиваленту нагрузки; δ – деформация амортизатора.

В результате испытаний амортизаторов типа АРМОО и АКСС, используемых для упругого закрепления центробежных судовых электровентиляторов, получены их амплитудно-частотные характеристики и рассчитаны вибрационная жёсткость и механическое сопротивление при различной амплитуде вибронагружения (табл. 1).

Таблица 1

Параметры амортизаторов типа АРМОО и АКСС в осевом направлении

Параметр	Значение параметра при деформации δ, мм					
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,0
$f_р$, Гц	19,6	19,5	18,9	18,5	17,3	17,1
C, кН/м	151	150	141	135	118	115
Z, кН·с/м	1,23	1,22	1,18	1,16	1,08	1,07
$f_р$, Гц	19,0	18,8	18,6	18,1	17,4	16,7
C, кН/м	215	209	206	195	176	166
Z, кН·с/м	1,79	1,77	1,75	1,71	1,63	1,58
$f_р$, Гц	17,1	16,9	16,7	15,3	14,4	14,1
C, кН/м	289	284	275	233	205	198
Z, кН·с/м	2,68	2,66	2,62	2,41	2,26	2,22
$f_р$, Гц	16,1	15,9	15,5	14,6	13,9	13,6
C, кН/м	413	401	379	339	307	291
Z, кН·с/м	4,06	4,00	3,89	3,68	3,50	3,41
$f_р$, Гц	15,4	15,2	14,3	13,3	12,6	12,3
C, кН/м	375	367	322	281	250	238
Z, кН·с/м	3,87	3,83	3,59	3,35	3,16	3,08
$f_р$, Гц	32,6	32,1	31,3	29,4	28,0	27,3
C, кН/м	631	612	580	511	465	441
Z, кН·с/м	3,07	3,03	2,95	2,76	2,64	2,57
$f_р$, Гц	20,0	19,7	19,3	19,0	18,6	18,1
C, кН/м	397	382	368	357	341	323
Z, кН·с/м	3,15	3,09	3,03	2,98	2,92	2,84

Полученные данные подтверждают снижение резонансной частоты эквивалента нагрузки на амортизаторах при увеличении их деформации, что приводит к изменению параметров. Эта зависимость близка к линейной при логарифмическом масштабе по деформации (рис. 1).

Следовательно, проведя линию тренда к рассматриваемой зависимости, можно определить угол её наклона по выражению

$$tg\alpha = \frac{\Delta f}{\Delta In\left(\frac{1}{\delta}\right)},$$

где Δf – изменение частоты, Гц.

Из соотношения

$$\Delta f_\delta = In\left(\frac{1}{\delta}\right)tg\alpha,$$

вычисляем изменение резонансной частоты при заданной деформации амортизаторов.

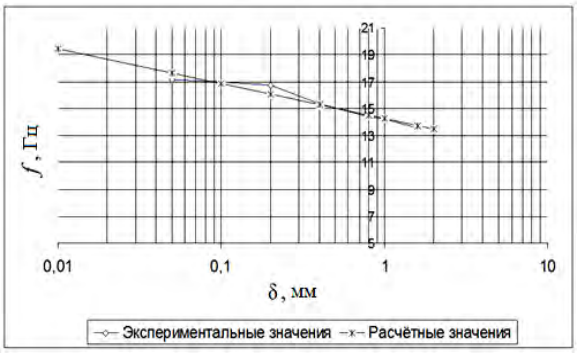


Рис. 1. Зависимость резонансной частоты эквивалента нагрузки на амортизаторах типа АРМОО и АКСС в осевом направлении от уровня деформации

Таким образом, резонансная частота оборудования на амортизаторах при заданной деформации

$$f_{p_\delta} = f_1 + \Delta f_\delta,$$

где f_1 – резонансная частота при деформации 1 мм.

Полученные зависимости позволяют установить параметры амортизаторов в режимах, соответствующих реальным условиям.

В ходе анализа результатов испытаний по определению виброшумовых характеристик судового электрооборудования отмечено увеличение уровней вибрации на опорных связях в 1/3-октавных диапазонах частот со среднегеометрическими частотами 25; 31,5 и 40 Гц. Оно обусловлено связанными колебаниями конструкции оборудования, вызванными её несимметрией, и усилено резонансами изделия на амортизаторах, что подтверждается расчётными значениями f_p в указанных ранее диапазонах деформации.

Расчётные значения f_p резинометаллических амортизаторов типа АРМОО и АКСС приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения f_p амортизаторов типа АРМОО и АКСС в осевом направлении

Тип амортизатора	Значение f_p, Гц, при деформации δ, мм				
	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
АРМОО-10	17,1	19,4	21,6	23,9	26,2
АРМОО-15	16,9	18,9	20,8	22,8	24,7
АРМОО-25	14,3	16,8	19,4	22,0	24,6
АРМОО-40	13,8	15,8	17,8	19,8	21,8
АКСС-15М	27,8	31,9	36,1	40,3	44,4
АКСС-25И	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2

Таким образом, полученные на основе экспериментальных данных зависимости позволяют определить параметры амортизаторов при заданной деформации, которые необходимо учитывать особенно при проектировании малошумного амортизированного оборудования.

Список литературы

1. Поздеев Л.В. К определению механических параметров амортизаторов // XV междунар. научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии»: сб. трудов в 3 т. – Томск, 2009. – Т. 1. – С. 463–464.
2. Ляпунов В.Т., Лавендел Э.Э., Шляпочников С.А. Резиновые виброизоляторы: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988.
3. Ильинский В.С. Защита аппаратов от механических воздействий. – М.: Энергия, 1970.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕРМЕТИЧНОЙ МАГНИТНОЙ МУФТЫ

Полунин Д.В., Муравлёв О.П.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:mop@tpu.ru

В ряде областей промышленности существует потребность в использовании герметичных электромеханических систем. Ранее были рассмотрены основные направления развития, конструктивное исполнение и принципы проектирования данного класса машин.

Цель работы – оптимизация геометрических параметров герметичной магнитной муфты с получением максимального крутящего момента.

Согласно нормам технической эксплуатации, подтяжка сальников должна производиться через 4–5 часов работы, а замена набивки – через 5–8 суток. Торцевые уплотнения более долговечны (срок службы колеблется от 20 до 60 дней), но и это не исключает необходимости постоянного наблюдения за их работой. Учитывая агрессивность веществ, применяемых в технологиях ядерной энергетики, наилучшим решением задачи герметизации может быть установка немагнитного экрана в воздушном зазоре магнитной муфты.

Вопрос «абсолютной» герметизации оборудования можно решить путем применения специально спроектированных герметичных электромеханических устройств. К ним можно отнести магнитные муфты и электрические машины, имеющие в конструкции немагнитный экран установленный непосредственно в воздушном зазоре.

В герметичной муфте (рис. 1) синхронное вращение выходному валу передается через сплошную стенку (экран) с помощью системы постоянных магнитов.

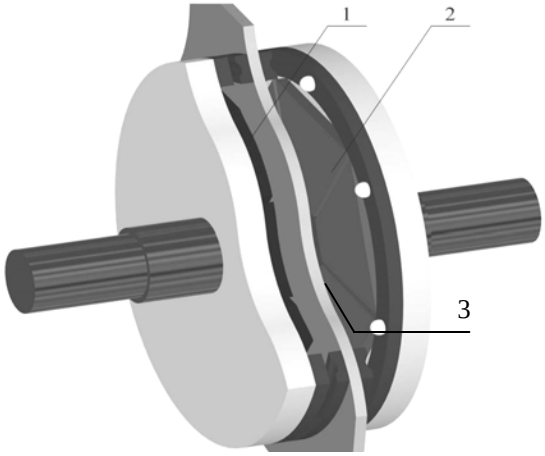


Рис. 1 Герметичная магнитная муфта дискового типа: 1 – полумуфта, 2 – полюс из редкоземельного магнита, 3 – немагнитный, герметизирующий экран

Достоинством магнитных муфт считается использование в их составе редкоземельных постоянных магнитов, позволяющих создавать в единице объема высокий магнитный момент недостижимый электромагнитным способом. Разработка и использование магнитных герметичных муфт позволяет максимально упростить и выполнить более надежной конструкцию электромеханических устройств, так как основная часть муфты находится вне рабочей зоны.

В процессе решения задачи была создана компьютерная модель магнитной муфты, позволяющая получить все интересующие нас характеристики объекта, такие как крутящий момент, электромагнитные потери в экране и др.

Расчёт выполнен на основе электромагнитной схемы замещения магнитной системы синхронной муфты (рис. 2). Расчетная система нелинейных алгебраических уравнений выводится по схеме замещения и решается с учетом нелинейности характеристик сред методом простых итераций.

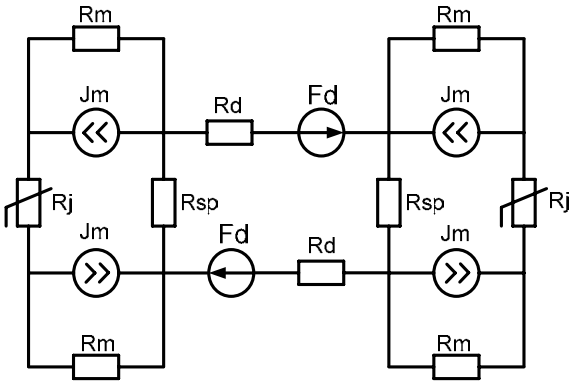


Рис. 2. Схема замещения магнитной системы муфты

На схеме приведены следующие обозначения: Fd – МДС обусловленная действием наведенных в экране электромагнитных токов; Jm – источник магнитного потока, создаваемого высококоэрцитивным постоянным магнитом; Rd – магнитное сопротивление воздушного зазора; Rsp – магнитное сопротивление потоку рассеяния полюсов; Rm – внутреннее сопротивление магнита; Rj – магнитное сопротивление ярма.

Для расчета статических характеристик магнитной муфты был использован прикладной пакет Matlab.

По итогам расчета определены зависимости максимального момента передаваемого муфтой при изменении воздушного зазора и внешних габаритных размеров, а также определены геометрические характеристики которые могут быть выбраны за независимые переменные.

Для нахождения наилучших соотношений геометрических характеристик исследуемой магнитной муфты необходимо использование метода оптимизации, позволяющего снизить массогабаритные показатели и определить минимальные габариты постоянных магнитов с заданными механическими характеристиками.

Проанализировав наиболее распространенные алгоритмы и методы оптимизации был выбран метод Монте-Карло для поиска наилучших геометрических характеристик торцевой магнитной муфты с герметизирующим экраном.

Данный метод оптимизации направлен на максимизацию заданного параметра за счет подбора произвольных комбинаций. По своей сути, метод Монте-Карло ищет методом, основанным на генерации случайных чисел, поэтому не всегда этот метод найдет значения, которые действительно максимизируют заданный показатель, например, магнитный поток. Тем не менее, метод Монте-Карло сможет быстрее найти лучшие параметры при очень большом количестве оптимизационных параметров, чем метод полного перебора. По сравнению с другими методами одно из важных преимуществ метода Монте-Карло это то, что число независимых переменных может быть неравно числу ограничений.

В данном методе используется генератор случайных чисел. Обычно современная ЭВМ имеет стандартную программу, генерирующую случайные числа, равномерно распределенные в интервале от нуля до единицы, т. е. «разыгрывающую» значения непрерывной случайной величины, принимающей с равной вероятностью все значения в интервале (0, 1). Каждое обращение к этой программе дает одно такое число с определенным числом знаков после запятой, зависящим от класса ЭВМ.

Для правильной постановки задачи оптимизации необходимо:

• наличие объекта оптимизации и цели оптимизации. При этом формулировка каждой задачи оптимизации должна требовать экстремального значения лишь одной величины, т. е. одновременно системе не должно приписываться два и более

критерия оптимизации, т. к. практически всегда экстремум одного критерия не соответствует экстремуму другого;

• наличие ресурсов оптимизации, под которыми понимают возможность выбора значений некоторых параметров оптимизируемого объекта. Объект должен обладать определенными степенями свободы – **управляющими воздействиями**;

• возможность количественной оценки оптимизируемой величины, поскольку только в этом случае можно сравнивать эффекты от выбора тех или иных управляющих воздействий;

• учет ограничений.

За независимые переменные были приняты такие геометрические размеры как:

• ширина паза между полюсами;
• толщина ярма;
• размеры полюса;
• число пар полюсов;

В качестве ограничений будут выбраны такие параметры муфты как:

• диаметр полумуфты;
• внутренний диаметр полумуфты;
• величина воздушного зазора.

А целевой функцией при оптимизации выбран максимальный момент, при котором муфта гарантированно не выйдет из синхронизма.

Обычно оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта (аппарат, цех, завод).

При использовании указанного метода необходимо большое количество раз моделировать случайный процесс и определить путем статической обработки значение нужной характеристики.

Список литературы

1. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты: учебное пособие. – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
2. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.
3. Леонов С.В., Фокин В.В.., Муравлев О.П. Расчёт статических характеристик низкоскоростного синхронного двигателя с концентрацией магнитного потока // Известия вузов электромеханика, 2009. – №6.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ЗАДВИЖКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Прохоров А.В.

Научный руководитель Баклин В.С. , к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: ul_man@sibmail.com

К виртуальным моделям, электротехнических устройств созданным при использовании современных систем автоматического проектирования, предъявляется ряд требований основным, из которых является адекватность модели ее реальному прототипу. Решается эта задача, путем сравнения полученных при моделировании результатов, с экспериментальными данными (при их отсутствии, с расчетными).

В данной работе, с помощью среды математического моделирования Simulink (приложение математического пакета MATLAB) собрана модель взрывозащищенного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, с питанием от трехфазной сети переменного тока работающего в составе привода задвижки магистрального трубопровода.

В качестве базового двигателя используется взрывозащищенный асинхронный двигатель ДАТ156М применяемый в многооборотном электроприводе с электромеханической системой управления Гусар МП.

При исследовании виртуальной установки с двигателя, работающего в номинальном режиме, в качестве результатов снимаются выходные параметры. Они представляют собой зависимости амплитудного значения тока статора, момента на валу, частоты вращения, угла поворота ротора, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности машины от времени.

Временные характеристики дают достаточную информацию о работе силового органа привода. Благодаря этому становится возможным сравнить полученные данные с расчетными значениями, сделать вывод об адекватности модели.

Расчет параметров двигателя произведен в математическом пакете MathCAD, с использованием общепринятой методики расчета общепромышленных асинхронных двигателей [1,5].

Simulink предлагает набор величин, описывающих основные выходные параметры двигателя. Stator currents (ia, ib, ic и is_q, is_d) (A) – токи статора и проекции тока статора на оси q и d. Stator voltages (vs_q, vs_d) (V) – проекции напряжения статора на оси q и d. Rotor speed (rad/sec) – частоту вращения ротора (рад/сек), Electromagnetic torque (N·m) – электромагнитный момент (Н·м) и другие.

Для вывода перечисленных характеристик, используют стандартный блок Machines Measurement Demux (Распределитель машинных измерений).

Основной интерес представляют, зависимости изображающего вектора тока статора электромагнитного момента, энергетических параметров (коэффициент мощности и коэффициент полезного действия) от времени.

Из всех перечисленных характеристик с помощью стандартных блоков Simulink, на осциллограф можно вывести только электромагнитный момент. Для вывода изображающего вектора тока статора и коэффициента полезного действия необходимо с помощью блоков S-function builder создать пользовательские модули. В модулях заложены алгоритмы расчета перечисленных характеристик.

Изображающий вектор тока статора:

$$i_S = \sqrt{i^2_{sq} + i^2_{sd}}$$

где i_{sq} и i_{sd} проекции токов статора на оси q и d

Коэффициент мощности определяется как косинус угла между изображающими векторами тока и напряжения статора.

Угол между изображающим вектором тока статора и осью d

$$\varphi_I = arctg\left(\frac{i_{sq}}{i_{sd}}\right)$$

Угол между изображающим вектором напряжения статора и осью d

$$\varphi_U = arctg\left(\frac{u_{sq}}{u_{sd}}\right)$$

Тогда угол между изображающими векторами тока и напряжения статора.

$$\varphi = \varphi_I - \varphi_U$$

Изображающий вектор напряжения статора:

$$u_S = \sqrt{u^2_{sq} + u^2_{sd}}$$

где u_{sq} и u_{sd} проекции напряжения статора на оси q и d

Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = \frac{m}{2} \cdot u_S \cdot i_S \cdot cos\varphi$$

Мощность на валу двигателя:

$$P_2 = \frac{M_2 \cdot \Omega \cdot (1 - s)}{p}$$

где M_2 – момент на валу двигателя, s – скольжение, f – частота питающей сети, p – число пар полюсов.

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

В качестве объекта моделирования использован объект MATLAB Asynchronous Machine SI Units (Асинхронная машина в единицах системы СИ). Задание параметров объекта осуществляется через диалоговое окно, на основании данных приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Номинальные данные двигателя ДАТ156М

P_{2H}, Вт	$U_{ФН}$, В	$I_{ФН}$, А	M_H, Н·м	s, о.е.	η, о.е.	n_2, об/мин	cosφ, о.е.	X_m, Ом	R_1, Ом	R_2^1, Ом	$X_{\sigma 1}$, Ом	$X_{\sigma 2}^1$, Ом
550	220	4,71	1,2	0,078	0,687	1482	0,769	467.7	42.5	27.42	30.48	47.9

В табл. 2 обозначены: P_{2H} – номинальная мощность на валу двигателя, $U_{ФН}$ – номинальное фазное напряжение питания, $I_{ФН}$ – номинальный фазный ток статора, M_H – номинальный момент на валу двигателя, s – номинальное скольжение, η – коэффициент полезного действия, $cos\,\varphi$ – коэффициент мощности, X_m – индуктивное сопротивление взаимной индукции, R_1 – активное сопротивление статора, R^1_2 – приведенное активное сопротивление ротора, $X_{\sigma 1}$ – индуктивное сопротивление рассеяния статора, $X^1_{\sigma 2}$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния ротора.

Результаты моделирования для сравнения с расчетными данными для номинального режима работы сведены в табл. №2

Небольшие отклонения значений моделирования от расчетных, свидетельствует о достаточной точности результатов полученных с помощью Simulink и как следствие адекватности виртуальной модели ее реальному прототипу.

Таблица 2

Номинальные параметры двигателя ДАТ156М

Данные	η_H, о.е.	cosφ_H, о.е.	M_H, Н·м	$I_{ФН}$, А	n_H, об/мин
Расчет	0,687	0,769	1,21	4,11	1382
Моделирование	0,681	0,763	*1,14*	4,02	1378

Полученная модель имеет важное практическое значение, так как позволяет использовать ее для исследования асинхронных машин, при отсутствии реальных образцов.

Список литературы

1. Карауклов А.С. Создание модели в среде Симулинк: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
2. С.Г. Герман-Галкин, Г.А. Кардонов Лабораторные работы на ПК Корона-Пинт. – 2003. – 256 с.
3. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1980. – 495 с.
4. Гусельников А.Э., Баклин В.С., Баранов П.Р. Рольганговые частотно-регулируемые асинхронные двигатели.
5. Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
6. Бутусов П., Половко А. MATLAB для студента. – М., 2005. – С. 320
7. Беспалов В.Я. Перспективы создания отечественных электродвигателей нового поколения для частотно-регулируемого электропривода // Международная конференция. АЭП-2004, Магнитогорск, 14–17 сентября 2004.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ЕСТЕСТВЕННЫМ ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Рашидов Р.М.

Научный руководитель: Игнатович В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ninzya_4@sibmail.com

Обмотки и изоляция (продольная, витковая и главная) силовых трансформаторов могут повреждаться под воздействием повышенной напряженности электрического поля, вызванной недопустимыми перенапряжениями различного характера, сил механического воздействия, возникающих при КЗ (особенно при близких КЗ), а также под воздействием недопустимых температур. [1]

К числу предположительных причин, способных привести к появлению в конструкции трансформатора недопустимого уровня механических напряжений, могут быть:

- перенапряжения при работе трансформатора, если они превышают уровень испытательных напряжений;
- применение некачественного обмоточного провода;
- воздействие токов КЗ и ударных токов.

Механические силы, действующие на обмотки, зависят от конструкции обмоток, размещения витков и токов, протекающих в обмотках [2].

Основными этапами обеспечения стойкости трансформатора при КЗ являются

- расчеты тока КЗ и ударных токов;
- расчеты магнитного поля;
- определение электродинамических сил, действующих в обмотках, витках (осевых, радиальных, тангенциальных);
- нахождение распределения механических напряжений и деформаций под действием этих сил;
- анализ прочности и устойчивости обмоток, их элементов, и оптимизация конструкции.

Как видно из рис. 1, максимальное поле сосредоточено в канале рассеяния между обмотками [3]. Анализируя магнитное поле реального трансформатора, прежде всего, проводят построение кривой изменения МДС (удельных ампервитков) вдоль радиуса на середине высоты обмоток, которая для двухобмоточного трансформатора имеет вид трапеции с максимумом МДС в канале между обмотками – канале рассеяния. Кривая осевой составляющей индукции By в первом приближении повторяет эту трапецию. Осевая составляющая индукции в большом объеме канала рассеяния остается примерно одинаковой, снижаясь только к торцам обмотки. На уровне торцов обмоток кривая индукции вдоль радиуса также имеет вид, близкий к трапеции, значения индукции при этом примерно вдвое ниже, чем на середине высоты.

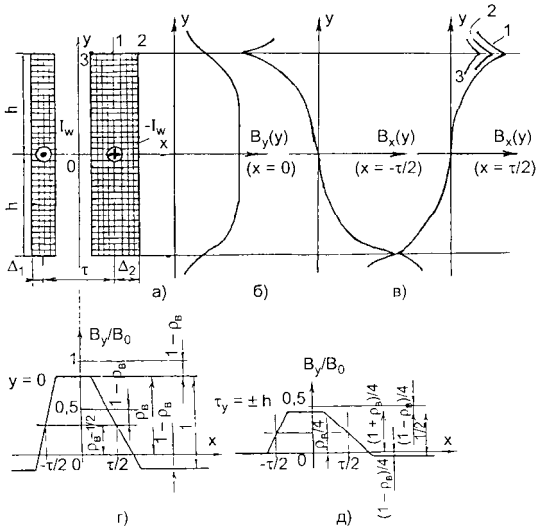


Рис. 1. Осевая и радиальная составляющая индукции двухобмоточного трансформатора для характерных точек поля рассеяния обмоток: а) сечение обмоток, б) график осевой составляющей индукции вдоль канала рассеяния, в) графики распределения радиальной индукции по середине радиального размера обмоток НН и ВН (как правило, на обмотке НН, ближайшей с сердечнику, радиальная индукция больше, чем на обмотке ВН), г) и д) графики распределения осевой составляющей индукции вдоль радиуса в середине высоты обмоток и на торцах. При оценке индукции в характерных точках $B_0 = \mu_0 Iw/2h$. Радиальная индукция $B_x/B_0 = \alpha/2\pi$, где для точки 1 $\alpha = \ln\tau/\Delta_2 + 1$, для точки 2 $\alpha = \ln[(\tau + \Delta_2)/2\,\Delta_2] + 1$, для точки 3 $\alpha = \ln[(\tau + \Delta_2)/2\,\Delta_2] + +1$ [4]

Расчет силового трансформатора по [3] не дает полноценного и всестороннего представления о силах, действующих в обмотках и витках силового трансформатора. Силы эти представлены по упрощенной схеме, 2–3 векторами, что мало для полного анализа ситуации (тангенциальная сила здесь не представлена вообще, а в энергетике не мал процент выхода трансформаторов из строя вследствие «закручивания» обмоток вокруг своей оси под действием как раз этой силы). Для прояснения ситуации возможен анализ вариаций обмоток, а так же конфигураций конструкции. Для этих целей используются различные пакеты CAD приложений, такие как MathCAD, Multiphysics, Ansys. Причем первый пакет используется для расчета геометрии конструкции, а вторые два – для проверки достоверности результатов, полученных с помощью первого пакета.

Как показывает анализ аварий трансформаторов в эксплуатации и повреждений при испытаниях на стойкость при КЗ, осевые силы представляют одну из главных причин повреждений трансформаторов. Осевые силы, которые возникают в трансформаторах, возрастают с увеличением их мощности. В частности, для трансформаторов предельной мощности максимальная интегральная сила в обмотке достигает многих сотен тонн (тысяч килоньютонов кН), примерная оценка такова: осевая сила в тоннах соответствует мощности трансформатора в МВ•А. Осевые силы, действующие на каждую катушку (виток), вызывают изгиб проводников в пролете между дистанцирующими прокладками. Каждый проводник можно рассматривать как балку, защемленную между прокладками, на которую действует равномерно распределенная по расчетной длине балки $(\pi D/c_n - b_n)$ осевая сила $2^{0.5}\, IkBx$, где D – средний диаметр концентра (т. е. катушки), c_n – число столбов прокладок по окружности катушки, b_n – ширина дистанцирующей прокладки, $2^{0.5}\, I_k$ – амплитуда тока провода, B_x – радиальная составляющая индукции магнитного поля. Максимальное механическое напряжение изгиба в проводе рассчитывают для той катушки, где максимальна индукция B_x.

Суммируясь по виткам и катушкам вдоль обмотки, осевые силы создают силы на торцах обмотки (опорах) и механические напряжения сжатия в витковой изоляции и изоляционных дистанцирующих прокладках, которые могут привести к потере осевой устойчивости проводов, к полеганию проводов. [5] Эти силы могут разрушить концевую изоляцию обмоток, изогнуть прессующее кольцо, повредить (вывернуть, изогнуть) прессующие винты, домкраты, деформировать прессующие балки (рис. 2). Основной задачей расчета осевых сил является определение:

- сил на верхних и нижних опорах обмоток $P_{ВЕРХ}$ и $P_{НИЗ}$;
- максимальной осевой силы в обмотке $P_{МАХ}$ и вызываемого ею максимального давления в прокладках;
- рекомендуемой силы прессовки обмоток P_0.

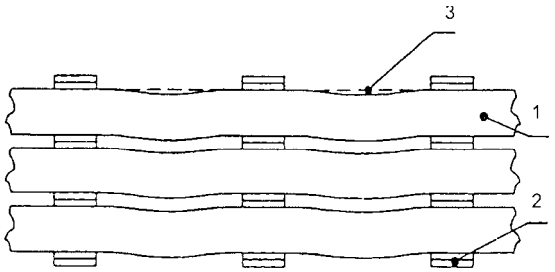


Рис. 2. Прогиб проводников в пролете между столбами прокладок под действием изгибающих осевых сил: 1 – проводники, 2 – прокладки, 3 – прогиб

Широкое внедрение динамических расчетов в практике проектирования трансформаторов только еще начинается, и статические расчеты сохраняют свою актуальность [5]. Одним из самых важных затруднений при использовании динамических расчетов осевых сил представляется то, что этот расчет должен органически сочетаться с механическим расчетом обмоток и прессующих конструкций также при действии динамических нагрузок (а не статических, как это сейчас принято), а такие расчеты пока еще при проектировании трансформаторов развиты недостаточно.

Список литературы

1. http://0380.ru/?Harakternye_%0D%0Apovrezhdeniya_transformatorov
2. http://www.voasw.ru/index.php?show_aux_page=25
3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов.: учеб. пособие для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 544 с. с ил.
4. Лурье А.И. Об определении максимального тока при включении цепи RL на переменное напряжение // Электричество. – №12.
5. Зенова В.П., Иванова Н.С., Лурье С.И., Мильман Л.И. Электродинамическая устойчивость наружных обмоток трансформаторов больших мощностей // Электричество, 1971, № 10.
6. Бунин А. Г., Конторович Л. Н., Виногреев М. Ю. Расчет распределения токов и напряжений в обмотках трансформаторов // Электротехника. – 1977. – № 4.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ ЛИНЕЙНОГО КВАДРАТИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НАПОРНОГО МЕХАНИЗМА

Рублевский И.С., Скоробогатый В.В.

Научный руководитель: Кочетков В.П., д.т.н., профессор

Хакасский технический институт – филиал СФУ, 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: ivanrub1984@mail.ru

В статье рассматривается электропривод постоянного тока системы «генератор-двигатель», управляющий двухмассовой электромеханической системой. Решается задача стабилизации для данной системы на основе управления летательными аппаратами.

Управление линейными объектами и оптимизация их поведения с использованием квадратичных функционалов относятся к классу задач *линейного квадратичного регулирования* [1]. Наиболее распространенным случаем в современной теории управления является задача стабилизации

многомерного объекта. Тогда в векторно-матричной форме математическая модель объекта управления при общепринятых допущениях примет вид [2]:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где $\dot{x} = [i_в \quad i_a \quad \omega_1 \quad M_y \quad \omega_2]^T$, $i_в$ – ток возбуждения генератора, i_a – ток якорной цепи, ω_1, ω_2 – соответственно угловая скорость вращения первой массы и второй массы, M_y – упругий момент. Здесь $x \in R^n$, $u \in R^m$; A, B – матрицы соответствующих размерностей. Замкнутое решение задачи предполагает нахождение алгоритма управления (регулятора): $u = U(x)$, которое обеспечивает перевод системы (1) из произвольного начального состояния x_0 в конечную точку $x_t = 0$. Необходимо минимизировать отклонение от конечной точки $x = 0$. Для уточнения задачи вводят дополнительные требования к системе, т. е. критерии качества, определяющие ее поведение.

Для решения нашей задачи воспользуемся квадратичным функционалом, общий вид которого:

$$J(x,u) = \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt + x^T(t_f)P_f x(t_f) \quad (2)$$

Решая задачу вариационного исчисления [1] для соответствующего расширенного функционала, получаем систему уравнений Эйлера-Лагранжа в канонической форме:

$$\begin{cases} \dot{\lambda} = -A^T\lambda + Qx, \\ u = -R^{-1}B^T\lambda, \\ \dot{x} = -Ax + Bu = Ax + BR^{-1}B^T\lambda, \end{cases} \quad (3)$$

представленную соответственно основным объектом управления, алгоритмом управления и сопряженной системой.

Для получения решения в замкнутой форме будем искать вектор сопряженной системы в виде:

$$\lambda = -P(t)x, \quad (4)$$

где $P(t) > 0$ – матрица, которую можно определить, решая матричное уравнение Рикатти [1]:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P = -Q. \quad (5)$$

Подставляя (4) во второе уравнение системы (3), находим пропорциональный алгоритм управления

$$u = -Kx, \quad (6)$$

где K – матрица коэффициентов обратной связи, рассчитываемая по формуле: $K = R^{-1}B^T P$.

Уравнение оптимальной системы получается подстановкой (6) в (1) и принимает вид: $\dot{x} = A_c x$, где матрица замкнутой системы: $A_c = A - BR^{-1}B^T P$. Структурная схема оптимальной системы показана на рис. 1.

В случае синтеза оптимального управления электроприводом напора необходимо стабилизировать скорость не относительно $x = 0$, а относительно $x = 1$, поэтому далее рассмотрим задачу слежения с ненулевыми заданными точками. При рассмотрении задачи регулирования предполагалось, что желаемым является нулевое состояние системы. На практике, почти во всех случаях желаемое равновесное состояние, которое назовем *заданной точкой*, не совпадает с началом координат [3]. Рассмотрим случай, когда заданная точка постоянна на длительных интервалах, но время от времени она смещается. Такая ситуация является типовой для электропривода экскаватора. Рассмотрим наиболее общий случай.

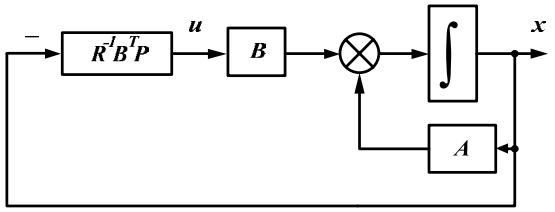


Рис. 1. Оптимальная замкнутая система в задаче стабилизации относительно $x = 0$

Линейная система описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (7)$$

где управляемая переменная определяется выражением:

$$z(t) = Dx(t). \quad (8)$$

Предположим, что заданная точка управляемой переменной есть z_0. Тогда для того, чтобы привести систему в эту точку, необходимо определить постоянное входное воздействие u_0, которое удерживает состояние в точке x_0, так что:

$$z_0 = Dx_0. \quad (9)$$

Из дифференциального уравнения состояния следует, что x_0 и u_0 должны быть связаны соотношением:

$$0 = Ax_0 + Bu_0. \quad (10)$$

Определим смещенное *входное воздействие*, *смещенное состояние* и *смещенную управляемую переменную* соответственно:

$$\begin{aligned} u'(t) &= u(t) - u_0, \\ x'(t) &= x(t) - x_0, \\ z'(t) &= z(t) - z_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Решая уравнения (11) относительно u, x и z, подставляя решение в (7) и (8) и используя (9) и (10), нетрудно получить уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{x}'(t) &= Ax'(t) + Bu'(t), \\ z'(t) &= Dx'(t). \end{aligned} \quad (12)$$

Если предположить, что в определенный момент времени заданная точка скачком меняется, то в параметрах смещенных уравнений (12) система принимает ненулевое начальное состояние. Для того чтобы система достигла новой заданной точки регулярным образом, предлагается оказывать такое воздействие на переходный процесс, чтобы достигал минимума критерий оптимальности:

$$J(x,u) = \int_{t_0}^{t_1} [z'^T(t)Q(t)z'(t) + u'^T(t)R(t)u'(t)]dt + z'^T(t_1)P_1 z'(t_1).$$

Предположим, что смещенная задача регулирования имеет установившееся решение в форме асимптотически устойчивого установившегося закона управления с постоянной настройкой:

$$u'(t) = -Kx'(t).$$

При таком законе управления система переходит в новую заданную точку с максимальной скоростью и без чрезмерно больших амплитуд входного воздействия.

В параметрах исходной системы закон управления имеет вид: $u(t) = -Kx(t) + u_0 + Kx_0$,

или:

$$u(t) = -Kx(t) + u_0'. \qquad (13)$$

Подставляя выражение (13) в (7), получаем:

$$\dot{x}(t) = (A - BK)x(t) + Bu_0'.$$

Так как замкнутая система асимптотически устойчива, то при $t \to \infty$ состояние достигает установившихся значений x_0, которые удовлетворяют уравнению:

$$0 = \bar{A}x_0 + Bu_0', \qquad (14)$$

где $\bar{A} = A - BK$.

Решение уравнения (14): $x_0 = (-\bar{A})^{-1}Bu_0'$.

Для достижения заданной точки управляемой переменной z_0, необходимо выполнение условия:

$$z_0 = D(-\bar{A})^{-1}Bu_0'. \qquad (15)$$

Решаем уравнение (15) относительно u_0, предполагая, что размерности u и z одинаковы, получаем:

$$u_0' = [D(-\bar{A})^{-1}B]^{-1}z_0.$$

Таким образом, оптимальное входное воздействие для системы слежения:

$$u(t) = -Kx(t) + [D(-\bar{A}^{-1})B]^{-1}z_0,$$

вводим обозначение:

$$H_c(0) = D(-\bar{A})^{-1}B, \qquad (16)$$

тогда оптимальный закон управления можно переписать в виде:

$$u(t) = -Kx(t) + H_c^{-1}(0)z_0, \qquad (17)$$

Понятно, что матрица (16), является несингулярной. Выражение (17) называют *оптимальным законом управления при ненулевой заданной точке* [3]. Ниже показана структурная схема оптимальной следящей системы на рис. 2.

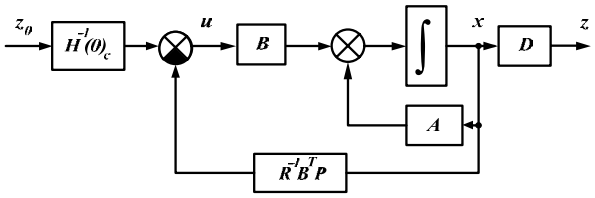


Рис. 2. Схема оптимальной следящей системы при ненулевой заданной точке

Электропривод напорного механизма требует постановки задачи оптимального управления для систем с ненулевыми заданными точками. Полученный оптимальный закон управления (17) учитывает особенности данного конкретного объекта управления.

В статье «Синтез следящей системы оптимального управления электроприводом», авторами которой являются Скоробогатый В.В. и Рублевский И.С., рассматриваются синтез оптимальной следящей системы электропривода напора экскаватора, а также синтез комбинированной оптимальной следящей системы с коррекцией питающего напряжения.

Список литературы

1. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы: учеб. пособие / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с.: ил.
2. Кочетков В.П. Основы теории управления: учебное пособие. 2-е изд., испр. – Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 2007. – 272 с.
3. Квакернаак Х. Линейные оптимальные системы управления: учебник / Х. Квакернаак, Р. Сиван; пер. с англ. В.А. Васильева Ю.А. Николаева. – М.: Мир, 1977. – 645 с.: ил.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Сагалбаев Ж.И.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: futyn2@sibmail.com

Электрические машины широко используются во всех промышленных и сельскохозяйственных установках, в устройствах автоматики и телемеханики, в автоматических линиях и бытовых приборах, на транспорте.

Одним из важнейших показателей качества электрических машин является их надежность [1]. Под надежностью понимается свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Ненадежность работы электродвигателей вызывает у потребителей различные виды расходов на ремонт отказавшего двигателя, восстановление ущерба от потери выпуска продукции, необходи-

мо время на восстановление нормального технологического процесса.

Надежность является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость [2].

Цель работы – оценить надежность асинхронных двигателей по данным эксплуатации на нефтехимическом заводе.

Исследование надежности электродвигателей и составляющих ее свойств проводится при эксплуатации изделий или при стендовых испытаниях. При этом исходными данными для анализа надежности являются наработка изделий и количество отказов за время наблюдения, испытаний, эксплуатации.

На крупных промышленных предприятиях, в том числе нефтехимических, обеспечение заданной надежности электрических машин использующихся при производстве является одной из наиболее важных целей [3]. Основное электрооборудование на заводе представлено асинхронными электродвигателями взрывозащищенного исполнения (ВАД), применяемых в насосных агрегатах, холодильных установках.

Проведенные исследования показали, что в двигателях отказы вызваны в основном из-за повышенной вибрации, которая приводит к ряду причин выводящих двигатель из строя. Так, например, повышенная вибрация вызывает: сбой в подшипниковом узле, приводит к замене полумуфты на новую, возникает боковое биение. Сбой в подшипниковом узле приводит в свою очередь к ухудшению свойств смазки, нагреванию и полной замене подшипников. Причина повышенной вибрации вызвана: скосом лап. При обнаружении скоса лап, двигатель отправляется в ремонтный цех, где проходит фрезерование и проходит проверку на исправность. Нередко причиной может быть брак завода, при осмотре двигателей было выявлено не соответствие размеров вала в паспортных данных измеренным. Двигатели были отправлены в токарный цех на подгонку (обточку) валов до необходимых размеров. Имеет место в двигателях обрыв, выгорание обмоток статора. На 100 случаев отказов приходится такой отказ как выход из рабочего состояния шпоночного паза.

В табл. 1 приведены данные отказов за 2008–2009 годы.

Таблица 1

Количественная оценка отказов двигателей

Причина отказа	2008		2009	
	Количество	%	Количество	%
Вибрация	40	15,4	25	16,6
Замена полумуфты	20	7,7	17	11,3
Замена подшипников	48	18,5	26	17
Обмотка статора	9	4,2	5	3,3
Ротор (вал)	9	4,2	3	2

Переработанная нефть вторично перерабатывается в специальных колоннах, предварительно охлаждаясь в холодильных установках. В них так же применяются взрывозащищенные асинхронные тихоходные двигатели. Вентиляторы с большими лопастями в остановленном режиме под влиянием ветра могут свободно вращаться. При запуске возникает пусковое сопротивление, которое определяется электрическими характеристиками и свободным вращением вентилятора. Вследствие этого увеличивается время запуска, что при больших значениях приводит к выгоранию контактных шпилек и затем переходит в короткое замыкание.

При повышенной вибрации двигателей уязвимыми для выхода из строя являются также вал ротора и подшипниковый узел. При осмотре ряда из них наблюдалось необходимость центровки выхода насоса с валом двигателя.

На рис. 1 показана интенсивность отказов вследствие повышенной вибрации, в области подшипникового узла и обмоток электродвигателя за период с 2005–2009 гг.

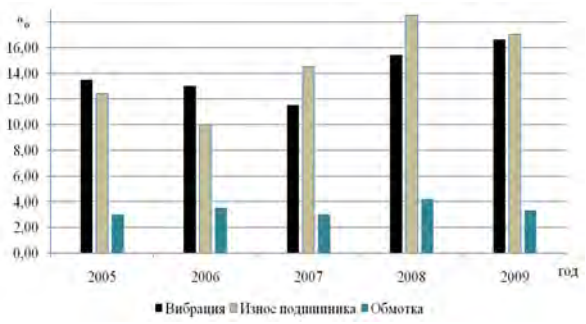


Рис. 1. Количественная оценка основных отказов ВАД

Анализ отказов АД по причине поломки обмотки статора в ремонтных цехах выявил, что неисправности во внутренней полости статора и обмотки связаны с попаданием смазки подшипников. Последнее возможно по нескольким причинам:

• персонал использует для пополнения подшипников низкокачественные марки смазок с низкой температурой каплепадения либо химически несовместимые с заводской смазкой, что вызывает разложение смеси смазок и ее вытекание;

• переполнение подшипников смазкой под давлением шприца выжимает смазку внутрь станины;

• возможно выбрасывание смазки при увеличении зазора лабиринтных уплотнений в результате их износа

Причинами отказов нередко является ошибки персонала при эксплуатации АД. Так, например, несколько двигателей было выведено из строя вследствие применения несовместимых марок смазки для подшипников. Перемешиваясь в подшипнике, они разлагаются, превращаясь в жидкую массу, что привело в свою очередь к выходу из строя подшипникового узла.

Неисправность приборов применяемые для слежения за состоянием двигателя также приводит к сокращению сроку службы или полному выходу из строя последнего.

На основании анализа отказов асинхронных двигателей на нефтехимическом заводе можно сделать вывод о необходимости следующих мероприятий:

• повышения интенсивности и уровня планово-предупредительных ремонтов;

• необходимо повышение уровня подготовки технического персонала;

• повышение уровня слежения за состоянием электрических приборов использующихся при мониторинге асинхронных двигателей.

Список литературы

1. Котеленец Н. Ф., Кузнецов Н. Л. Испытания и надежность электрических машин: Учеб. пособие. – М.: высш.шк., 1988. – 232 с.
2. Надежность асинхронных электродвигателей / Б.Н. Ванеев, В.Д. Главный, В.М. Гостищев, Л.И. Сердюк; под ред. Б.Н. Ванеева. – К.: Техніка, 1983. – 143 с.
3. Захарченко П.И., Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М. Обеспечение надежности асинхронных двигателей // УкрНИИВЭ. – Донецк, 1998. – 324 с

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО СВАРОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

Сагова М.С

Научный руководитель: Джендубаев А-З.Р., д.т.н., профессор

Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия,
Россия, 369000, г.Черкесск, Ставропольская, 36
E-mail: AZR10@mail.ru

Известна конструкция асинхронного сварочного генератора (АСГ), которая имеет крутопадающую внешнюю характеристику и может быть использована для дуговой сварки штучным электродом [1]. Генератор имеет две трехфазные обмотки на статоре. Одна обмотка является обмоткой возбуждения, к которой подключаются конденсаторы возбуждения, обеспечивающие самовозбуждение генератора и работу в режиме холостого хода. Другая – является рабочей обмоткой. К началам фаз этой обмотки подключены компаундирующие конденсаторы, соединенные в треугольник, а к концам обмотки подключены шунтирующие конденсаторы и выпрямитель, к которому подключен сварочный электрод.

Для исследования динамических и статических режимов такого генератора разработана математическая модель в трехфазной заторможенной системе координат [2]. В свою очередь на основе этой модели на языке Fortran написана Simulink – функция и создан имитационный SimPowerSystems блок электромеханической части АСГ [3]. Путем использования стандартных блоков библиотек Simulink и SimPowerSystems создана полная имитационная модель АСГ, представленная на рис. 1. Естественно, что, используя библиотеку блоков Measurements из SimPower-Systems и блоки Simulink, можно получить информацию об изменении любых токов и напряжений АСГ в динамических и установившихся режимах. Следует отметить, что при моделировании использовался метод ode45 (Dormand-Prince) с переменным шагом. В данном случае он оказался более устойчивым по сравнению с методами ode23t или ode15s, которые обычно рекомендуют использовать при моделировании нелинейных систем [3].

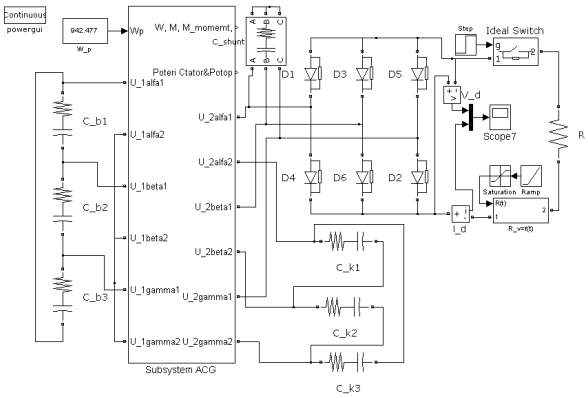


Рис. 1. Имитационная модель асинхронного сварочного генератора

В качестве объекта исследования был использован АСГ, изготовленный на базе асинхронной машины серии 4А112L6. Этот шестиполюсный генератор приводился во вращение двухполюсным асинхронным двигателем. При этом частота ЭДС АСГ возросла в три раза, что позволило уменьшить емкость конденсаторов и улучшить их использование по напряжению. Такое повышение частоты также способствовало улучшению динамических характеристик генератора [4].

Проведенные сварочные работы показали, что генератор обеспечивает устойчивое возбуждение сварочной дуги и минимальное разбрызгивание металла.

В ходе проведения опытов ХХ, КЗ и опыта с вынутым ротором были определены параметры и кривая намагничивания АСГ, которые были использованы при имитационном моделировании.

На рис. 2 представлены результаты моделирования перехода от режима холостого хода к режиму короткого замыкания (t = 0,05) и обратно (t = 0,035). В ходе моделирования перехода от режима КЗ к ХХ путем скачкообразного увеличения со-

противления нагрузки возникали значительные перенапряжения в сварочной цепи. Однако, проведенные экспериментальные исследования не подтвердили наличия таких перенапряжений. Это объясняется тем, что во время проведения сварочных работ для перехода от режима КЗ (или режима сварки) к режиму ХХ расстояние между электродом и свариваемой деталью плавно увеличивают вплоть до погасания дуги. При этом сопротивление дуги возрастает, а ток уменьшается. Естественно, что при таком плавном увеличении сопротивления перенапряжения не возникают. Для учета этой особенности разработан блок R_v=f(t), который моделирует изменение сопротивления дуги в функции времени.

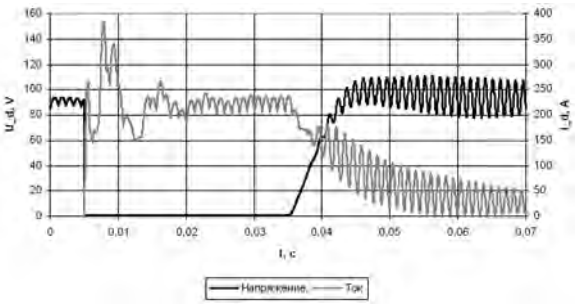


Рис. 2. Переходные процессы в сварочной цепи

На компьютере с процессором Intel Core 2Duo 3.00 GHz время расчета кривых, представленных на рис. 2, составило 45 *с*. При этом был использован ускоренный (Accelerator) режим расчета.

Работа выполнена при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

Вывод: разработанная имитационная модель асинхронного сварочного генератора с двумя обмотками статора может быть использована для исследования его динамических и статических режимов работы.

Список литературы

1. Патент RU № 2211519, H 02 K 17/00, H 02 P 9/46, B 23 K 9/00. Асинхронный сварочный генератор. / А–З.Р. Джендубаев. – № 2001124752/09; Опубл. 27.08.03. Бюл. № 24.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; Питер, 2008.
4. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / под ред. В.В. Смиронова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.

СИНТЕЗ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Скоробогатый В.В., Рублевский И.С.

Научный руководитель: Кочетков В.П., д.т.н., профессор

Хакасский технический институт – филиал СФУ, 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: vlad_sk87@mail.ru

В статье приведено исследование оптимальной следящей системы и комбинированной оптимальной следящей системы для управления электроприводом напора, которые позволяют уменьшить динамические нагрузки при увеличении быстродействия по сравнению с аналитически конструируемым оптимальным регуляром (АКОР) и комбинированной оптимальной системой управления.

Для увеличения быстродействия и ограничения динамических нагрузок привода в вектор состояния вводят дополнительную информацию по производным [1]. Математическое описание двухмассовой электромеханической системы (ЭМС) имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{di_в}{dt} = -\frac{R_в}{L_в}\cdot i_в + \frac{K_в}{L_в}\cdot U_y, \\ \frac{di_a}{dt} = \frac{R_y}{L_a}\cdot i_в - \frac{R_a}{T_a}\cdot i_a - \frac{C_e}{L_a}\cdot \omega_1, \\ \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{C_M}{J_1}\cdot i_a - \frac{M_y}{J_1}, \\ \frac{dM_y}{dt} = \frac{\beta_{12}\cdot C_M}{J_1}\cdot i_a + c_{12}\cdot\omega_1 - \frac{\beta_{12}}{J_1\cdot J_2}(J_1+J_2)\cdot M_y - c_{12}\cdot\omega_2, \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M_y}{J_2}. \end{cases}$$

Принимаем за базовые величины: ток возбуждения базовый равен номинальному току возбуждения; ток якоря базовый равен максимальному (стопорному) значению тока якоря двигателя; напряжение управления базовое равно номинальному напряжению управления; угловая скорость базовая равна номинальной угловой скорости двигателя; момент базовый равен максимальному моменту двигателя.

Умножим и разделим каждую координату на свою базовую величину; введем координаты: $x_0 = \frac{i_в}{I_{вб}}, x_1 = \frac{i_a}{I_{аб}}, x_2 = \frac{\omega_1}{\omega_б}, x_3 = \frac{M_y}{M_б}, x_4 = \frac{\omega_2}{\omega_б}.$

Тогда двухмассовая ЭМС в виде системы дифференциальных уравнений в форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = -a_{00}x_0 + b_0 u, \\ \dot{x}_1 = a_{10}x_0 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2, \\ \dot{x}_2 = a_{21}x_1 - a_{23}x_3, \\ \dot{x}_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 - a_{33}x_3 - a_{34}x_4, \\ \dot{x}_4 = a_{43}x_3, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$b=\frac{T_б K_в U_{уб}}{L_в I_{вб}},\ a_{00}=\frac{T_б}{T_в},\ a_{10}=\frac{K_Г I_{вб} T_б}{L_a I_{\max}},\ a_{11}=\frac{T_б R_a}{L_a},\ a_{12}=\frac{T_б C\omega_н}{L_a I_{\max}},$$

$$a_{23}=\frac{T_б M_{\max}}{J_1\omega_н},\ T_б=\frac{J_1\omega_н}{M_{\max}},\ a_{31}=\frac{\beta_{12}}{J_1},\ a_{32}=\frac{T_б c_{12}\omega_н}{M_{\max}},\ a_{33}=\frac{\beta_{12}}{J_1 J_2}(J_1+J_2),$$

$$a_{34}=\frac{T_б C\omega_н}{M_{\max}},\ a_{43}=\frac{T_б M_{\max}}{J_2\omega_н}.$$

При пуске электропривода важно быстрое достижение номинального значения скоростей двигателя и рабочего механизма. Для нечетных координат – тока якорной цепи и упругого момента характерен скачок, после которого эти координаты достигают нулевого равновесного состояния. Желаемым равновесным состоянием системы, которое называют *заданной точкой* пространства состояний, в данном случае является номинальная скорость двигателя и рабочего механизма.

Схема оптимального закона управления при ненулевой заданной точке [2] при синтезе оптимальной следящей системы управления электроприводом напора показана на рис. 1.

Было исследовано 16 структур следящей системы привода напора, со всевозможными комбинациями оптимальных обратных связей для трех критериев (общий, управления и возмущения).

Для примера представлены графики переходных процессов в следящей системе оптимальными обратными связями по главным координатам и производным $\omega_1', M_y', \omega_2'$ на рис. 2.

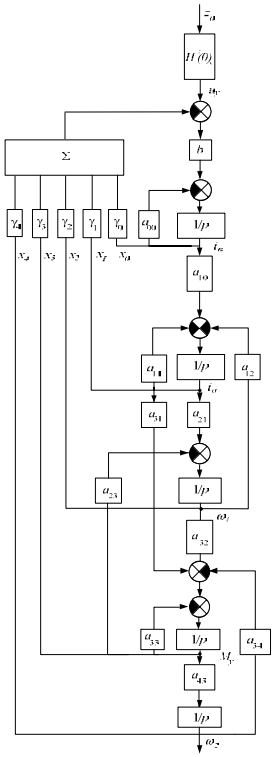


Рис. 1 Структурная схема двухмассовой оптимальной следящей системы в о.е. (справа)

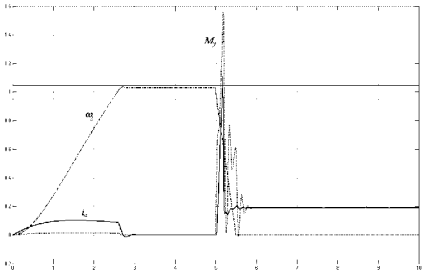


Рис. 2 Графики переходных процессов в следящей системе оптимальными обратными связями по главным координатам и производным $\omega_1', M_y', \omega_2'$

($I_{стп}$ = 1,11 о.е., $t_{п.п.}$ = 2,46 с., $M_{у\max}$ = 1,56 о.е.)

Рассмотрим синтез комбинированной оптимальной следящей системы с коррекцией питающего напряжения.

Для увеличения быстродействия системы «тиристорный возбудитель-генератор-двигатель» осуществляем коррекцию питающего напряжения, т. е. частично, в пределах коэффициента форсировки приближаем систему «генератор-двигатель», по быстродействию к системе «тиристорный преобразователь-двигатель».

Рассмотрим двухмассовый расчетный объект управления (2):

$$\begin{cases} K_в \cdot U_y = R_в \cdot i_в + L_в di_в / dt, \\ K_г \cdot i_в = R_a \cdot i_a + L_a di_a / dt + C_e \cdot \omega_1, \\ J_1 d\omega_1 / dt = M - M_y, \\ M_y = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{вт}(\omega_1 - \omega_2), \\ J_2 d\omega_2 / dt = M_y. \end{cases} \qquad (2)$$

Первое уравнение системы (2) описывает внутреннюю координату – ток возбуждения (или питающее напряжение), которую необходимо скорректировать методом системы подчиненного регулирования. Принимаем некомпенсируемую постоянную времени $T_\mu = T_в$. Структурная схема контура питающего напряжения приведена на рис. 3.

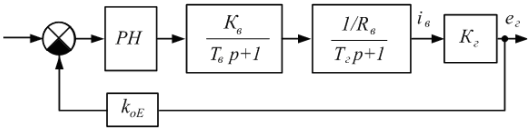


Рис. 3 Структурная схема контура напряжения

По методике расчета на «технический оптимум» определяем передаточную функцию регулятора питающего напряжения, приравнивая желаемую и реальную передаточные функции разомкнутого контура питающего напряжения. В результате получаем ПИ-регулятор питающего напряжения: $(T_г + 1)/T_{РН}\,p$, где $T_{РН} = 2T_\mu K_в K_г k_{oE} / R_в$. Передаточная функция замкнутого контура питающего напряжения

$$W_{ЗН}(p) \approx \frac{1/k_{oE}}{2T_\mu p + 1}.$$

Процедуру построения оптимальной следящей системы к уже скорректированной методами последовательной коррекции системе, осуществляем по методике, предложенной в работе [1] для процедуры АКОР. В этом методе контур напряжения представляется в виде апериодического звена

$$k_3' \cdot U_y = k_1' \cdot i_в + k_2' \cdot di_в / dt,$$

где $k_2'/k_1' = T_Н$, $k_3' = K_Н$ – коэффициент передачи замкнутого контура.

Тогда математическое описание системы, скорректированной с помощью метода системы подчиненного регулирования, для которого будет применяться процедура построения оптимальной

следящей системы с двухмассовым расчетным объектом управления:

$$\begin{cases} \frac{di_в}{dt} = -\frac{k_1'}{k_2'} \cdot i_в + \frac{k_3'}{k_2'} \cdot U_y, \\ \frac{di_a}{dt} = \frac{R_г}{L_a} \cdot i_в - \frac{R_a}{T_a} \cdot i_a - \frac{C_e}{L_a} \cdot \omega_1, \\ \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{C_M}{J_1} \cdot i_a - \frac{M_y}{J_1}, \\ \frac{dM_y}{dt} = \frac{\beta_{12} \cdot C_M}{J_1} \cdot i_a + c_{12} \cdot \omega_1 - \frac{\beta_{12}}{J_1 \cdot J_2}(J_1 + J_2) \cdot M_y - c_{12} \cdot \omega_2, \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M_y}{J_2}. \end{cases}$$

По аналогии получим систему дифференциальных уравнений в форме Коши (1), где

$$b = \frac{k_3' \cdot U_б}{k_2' \cdot I_{вб}}, a_{00} = \frac{k_1'}{k_2'}, a_{10} = \frac{K_г I_{вб}}{L_a I_{аб}}, a_{11} = \frac{R_a}{L_a}, a_{12} = \frac{C \cdot \omega_б}{L_a \cdot I_{аб}},$$

$$a_{21} = a_{23} = \frac{M_б}{J_1 \omega_б}, a_{31} = \frac{\beta_{12}}{J_1}, a_{32} = a_{34} = \frac{c_{12} \omega_б}{M_б},$$

$$a_{33} = \frac{\beta_{12}}{J_1 J_2}(J_1 + J_2), a_{43} = \frac{M_б}{J_2 \omega_б}.$$

Структурная схема двухмассовой комбинированной оптимальной следящей системы показана на рис. 4.

Приведенное математическое описание двухмассовой ЭМС (2) с введением информации по производным позволяет улучшить динамику системы при помощи соответствующих дополнительных обратных связей.

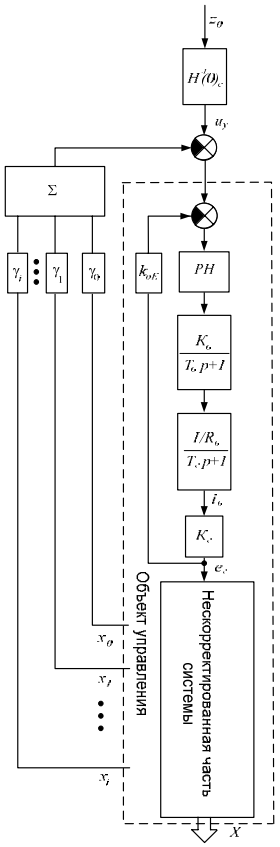


Рис. 4 Структурная схема двухмассовой комбинированной оптимальной следящей системы (справа)

Список литературы

1. Кочетков В.П. Основы теории управления: учебное пособие. 2-е изд., испр. – Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 2007. – 272 с.
2. Квакернаак Х. Линейные оптимальные системы управления: учебник / Х. Квакернаак, Р. Сиван; пер. с англ. В.А. Васильева Ю.А. Николаева. – М.: Мир, 1977. – 645 с.: ил.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕНТИЛЬНЫХ КОММУТИРУЮЩИХ И РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Сопыряева В.А.

Научный руководитель: Богданов Е.П. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: well_25@sibmail.com

Электроэнергия в промышленном производстве применяется для различных целей: электропривод, электротехнология, освещение. Соответственно, параметры электроэнергии, необходимые для ее эффективного применения в конкретных случаях, должны быть различны. Нередко частота переменного напряжения, его величина, требуют изменения непосредственно в течение технологического процесса. В то же время, источники электроэнергии – энергосистемы, трансформаторные подстанции обеспечивают потребителей стандартной электроэнергией в виде трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и рядом стандартных напряжений от 0,4 до 220 кВ.

Следовательно, для удовлетворения нужд производства в электроэнергии разных видов и параметров, а также для эффективного управления ее распределением необходимы различные преобразовательные устройства. Теоретические основы процессов преобразования электроэнергии с помощью вентильных устройств были разработаны в начале прошлого столетия. Однако широкое внедрение в практику преобразовательная техника получила после создания силовых полупроводниковых приборов (СПП).

Основные методы расчета энергетических и эксплуатационных характеристик силовых полупроводниковых преобразователей, а также основных силовых полупроводниковых приборов, их классификацию и основные типы вентильных преобразователей электроэнергии целесообразно рассматривать с использованием наиболее распространенного устройства – выпрямителя. Планируется провести анализ режимов работы разнообразных вентильных коммутирующих и регулирующих устройств.

Вентильные коммутаторы выполняют регулирующие, пускозащитные, коммутирующие функ-

ции, что подразумевает регулирование выходных электрических параметров. Это позволяет осуществлять управление двигателями, включая безударный пуск, реверс, регулирование частоты вращения по заданному закону, динамическое торможение и др. Высокое быстродействие силовых полупроводниковых приборов позволяет создавать аппараты, обеспечивающие надёжную, безынерционную коммутацию электрических цепей с высокой частотой.

Для использования тиристора в качестве коммутатора необходимо снабдить его одной из схем формирования управляющего сигнала с помощью искусственной коммутации (ИК) тиристоров. Обычный однооперационный тиристор можно рассматривать как полууправляемый ключ. Режимом искусственной коммутации называется процесс, при котором тиристор включается по управляющему электроду, а выключается только по силовой цепи. При работе в сетях переменного тока тиристоры выключаются при смене полярности напряжения, прикладываемого к их силовым электродам.

Методика исследований базируется на применении методов математического и физического моделирования. В ходе теоретических исследований планируется использовать методы теории линейных цепей, переключающих (коммутационных) функций, симметричных составляющих и рядов Фурье.

Тиристоры позволяют создавать бесконтактные ключи переменного и постоянного тока. Достоинства: большой срок службы и высокая надежность. Это объясняется статичностью конструкции и отсутствием износа при эксплуатации. Важнейшая характеристика коммутатора – быстродействие. Время включения тиристоров – десятки микросекунд. Это позволяет создавать коммутирующие устройства со временем включения не более 0,001 с. Время выключения тиристора с естественной коммутацией определяется частотой сети переменного тока и составляет примерно половину его периода.

Анализ режимов работы вентильных коммутаторов будет проводиться на базе трехпроводных устройств, работающих на активную или активно-индуктивную нагрузки.

Работа фазорегулируемых вентильных регуляторов в трехфазных сетях без нулевого провода зависит от величины угла управления тиристорами и рассматривается только с учётом взаимодействия всех фаз. Кривая напряжения на нагрузке вентильного коммутатора на интервалах времени, соответствующих *открытому* состоянию тиристоров во всех фазах, формируется из фазных напряжений. На временных интервалах, соответствующих *закрытому* состоянию вентиля в одной из фаз, кривая напряжения нагрузки формируется из линейного напряжения между фазами с проводящим состоянием тиристоров. Для трёхфазной схемы без нулевого провода выделяются три режима работы, соответствующих диапазонам изменения угла управления α:

$$0 < \alpha < 60°;$$
$$60° < \alpha < 90°;$$
$$90° < \alpha < 150° .$$

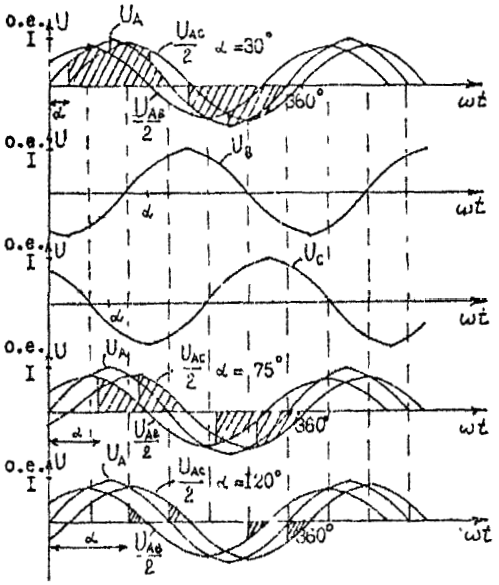


Рис. 1 Зависимость формы напряжения от нагрузки

Здесь допускается идеальность вентилей и симметрия нагрузки и углов управления тиристорами по фазам. Для иллюстрации первого режима работы принято значение $\alpha = 30°$. На интервале $0 - \alpha$ напряжение на нагрузке фазы А равно нулю, т. к. тиристор не включен. При включении тиристора в момент α = 30°, тиристоры в фазах *B* и *C* включены ранее и трёхфазная система симметрична.

Кривая напряжения нагрузки формируется из фазного напряжения *Ua* . Симметрия системы сохраняется до выключения вентиля фазы *C* в момент перехода *Uc* через *0*. Напряжение на нагрузке при этом формируется из половинного значения линейного напряжения $U_{AB}: 2$. Далее, в соответствии с состоянием вентилей в фазах, напряжение на нагрузке формируется из участков фазного и половинного линейного напряжения питающей сети. Начиная с $\alpha = 60°$ исчезают симметричные режимы работы. Напряжение на нагрузке фазы *A* формируется только из линейных напряжений $U_{AB}: 2$ и $U_{AC}: 2$.

На рис. – напряжение нагрузки фазы *A* для $\alpha = 75°$. При $\alpha > 90°$ режим работы изменяется за счёт появления бестоковых пауз между двумя линейными напряжениями, образующими полупериод напряжения нагрузки. Режим работы на рис. для $\alpha = 120°$. Отсутствие нулевого провода исключает из гармонического состава гармоники, кратные *3*. Диапазон регулирования углов управления тиристорами сокращается до *150°*.

Действующие значения токов нагрузки для расчёта интегральных характеристик коммутатора (*Im* – амплитудное значение тока фазы при $\alpha = 0°$):

$$Ig = \mathrm{Im}\sqrt{\frac{1}{\pi}[\frac{\pi}{2} - \frac{3}{4}(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2})]}, для\ 0 \prec \alpha \prec 60°$$

$$Ig = \mathrm{Im}\sqrt{\frac{3}{4}\pi[\frac{\pi}{3} + \frac{3}{4}\sin 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{4}\cos 2\alpha]}, для\ 60° \prec \alpha \prec 90°$$

$$Ig = \frac{\mathrm{Im}}{2}\sqrt{\frac{1}{\pi}[\frac{5}{2}\pi - 3\alpha + \frac{3\sqrt{3}}{4}\cos 2\alpha + + \frac{3\sin 2\alpha}{4}]}, для\ 90° \prec \alpha \prec 150°$$

Фазорегулируемый тиристорный регулятор в цепи переменного тока обеспечивает плавное регулирование интегральных характеристик тока и напряжения в цепи нагрузки. Их формы в системе электроснабжения при этом искажаются. Степень искажения напряжения сети зависит от соотношения мощностей источника питания и вентильной нагрузки, от величины углов управления тиристорами и схемы тиристорного коммутатора

При изучении электромагнитных процессов в мощных силовых преобразователях учитывается, что мощности преобразователя и питающей его трансформаторной подстанции соизмеримы. В этом случае при эквивалентировании питающего источника переменного тока также учитывается его активное и индуктивное фазные сопротивления. Такая модель системы электроснабжения позволяет достаточно строго рассмотреть энергетические характеристики вентильного преобразователя и его влияние на питающую сеть.

Список литературы

1. Лукутин Б.В. Силовые преобразователи электроэнергии: учебное пособие. – Томск. – 1997. – 84 с.
2. Сипайлов Г.А. Проблемы создания и применения специальных электромеханических преобразователей / Г.А. Сипайлов // Современные техника и технологии: Труды VI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 28 февраля – 3 марта 2000 года, Томск / М-во образования РФ; ТПУ. – Томск, 2000. – С. 6–9. – Библиогр.: 3 назв.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Султанкеримова И.Б., Марьин С.С.

Научный руководитель: Марьин С.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nett_n@mail.ru

1. Введение

При обеспечении электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры большое значение имеет борьба с внешним электромагнитным влиянием.

Опыт эксплуатации показывает, что среди электронных систем недостаточную помехозащищенность имеют некоторые типы радиоэлектронных средств, вычислительных комплексов и линий электросвязи. Поэтому, с учетом общих тенденций развития электронных систем, заключающихся в миниатюризации, снижении уровня рабочих сигналов и повышении надежности, повышение помехозащищенности данных систем требует применения улучшенной элементной базы. Особо высокие требования при этом должны предъявляться к кабельным изделиям по причине их протяженности, которая обуславливает существенную степень подверженности данных изделий внешним электромагнитным влияниям и делает кабельные изделия основной средой для распространения электромагнитных помех.

Так как основным средством борьбы с внешними влияниями в настоящее время является применение экранированных кабелей и кабелей с помехопоглощающими оболочками, то проблема определения характеристик эффективности экранирования кабельных изделий является на сегодняшний день актуальной проблемой, поскольку недостаточные требования к этим характеристикам приводят к понижению помехозащищенности, а избыточные требования к увеличению материалоемкости кабельных изделий.

2. Теория экранирования

Экранирование как средство борьбы с электромагнитными помехами применяется для таких элементов радиоэлектронных средств, которые могут быть либо источниками, либо рецепторами помех. Экран, образованный металлическим барьером, можно анализировать при помощи, как теории поля, так и теории цепей. В настоящее время наиболее широко используется теория поля.

Магнитное поле на очень низкой частоте можно экранировать, создавая магнитную цепь с низким сопротивлением.

Для экранирования электрических полей следует использовать материалы с высокой электропроводностью. Эффективность такого экрана бесконечно велика на очень низких частотах и падает с их ростом. Экранировать магнитные поля более сложно, поскольку затухание из-за отражения равно нулю для некоторых сочетаний материалов и частот. С уменьшением частоты ослабление магнитного поля из-за отражения и поглощения в немагнитных материалах падает, поэтому трудно создать магнитный экран из немагнитных материалов. На высоких частотах, где экранирование обеспечивается и поглощением и отражением, выбор материала менее критичен.

Магнитные материалы обеспечивают лучшее экранирование от плоских волн за счет поглощения, в то время как электропроводящие материалы – за счет отражения.

Взаимодействие двух проводов в магнитном поле описывается уравнением Максвелла.

Уравнения Максвелла обобщают два основных закона электротехники: закон полного тока и закон электромагнитной индукции.

В интегральной форме первое уравнение Максвелла (закон полного тока) устанавливает количественное соотношение между напряженностью магнитного поля $\overline{H}$ и электрическим током i:

$$\oint_L \overline{H} dl = i \qquad (1)$$

Второе уравнение Максвелла является обобщенной формулировкой закона электромагнитной индукции на случай любой среды.

Максвелл доказал, что электродвижущая сила, действующая вдоль какого-либо контура, равна линейному интегралу вектора напряженности электрического поля E, взятому вдоль этого контура. Отсюда обобщающая формулировка закона электромагнитной индукции:

$$\oint_L \overline{E} dl = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (2)$$

Скручивание проводов является хорошим способом уменьшения магнитной связи. Однако еще лучшую магнитную развязку обеспечивает коаксиальный кабель, поскольку его оболочка – эквивалентный «обратный» провод – расположена концентрично относительно внутреннего провода и тем самым эффективный размер пренебрежимо мал. Степень развязки определяется градиентом магнитного поля и характеристиками кабеля.

Эффективность экранирования зависит от правильности заземления экрана. В отличие от электрического экранирования магнитное не требует заземления экрана, если экранируемая цепь не является высокоомной.

3. Характеристики экранирования

В области частот до 200 МГц экран характеризуется квазистатическим поведением относительно электромагнитного поля. В этом случае действие экрана учитывается через коэффициент экранирования S, который, в зависимости от характера влияния помехонесущего поля, представляет собой отношение напряженности поля в какой-либо точке пространства при наличии экрана к напряженности поля в той же точке без экрана.

В области частот более 200 МГц векторы электрического и магнитного полей целесообразно рассматривать совместно.

В кабельной технике металлическая оболочка кабеля не просто экран, а часто система, в которую, по крайней мере, входят токопроводящие жилы (ТПЖ) и изоляция ТПЖ, при этом необходимо учитывать режимы работы концов кабеля.

Важной задачей кабельной техники является задача устранения вредного влияния помехонесущих токов. Помехонесущий ток, протекающий в оболочке кабеля, и получающееся при этом падение напряжения наводят в системе проводов, экранированных оболочкой, помехонесущие Э.Д.С, и чем меньше величина указанного падения напряжения, тем лучше будет экранирующее действие экрана. Это падение напряжения, очевидно, пропорционально помехонесущему току; коэффициент пропорциональности с размерностью сопротивления называют сопротивлением связи экрана.

На практике для оценки эффективности экранирования коаксиальных кабелей используется характеристика сопротивления связи.

4. Механизмы формирования помех в кабеле при внешнем влиянии

При расчете и конструировании экранированных кабелей изготовители добиваются требуемой величины экранного затухания, в то же время потребителей интересует, какие наводки кабели будут вводить в систему. Чтобы грамотно увеличить эффективность экранирования кабеля, необходимо понимать механизмы проникновения поля. Для кабеля коаксиальной конструкции можно сформулировать три механизма формирования помех.

Механизм 1 (обусловлен протеканием, тока в оболочке).

Помехонесущий ток в экране кабеля и соответствующее ему падение напряжения наводят в коаксиальном кабеле напряжение помехи. Падение напряжения в экране связано с помехонесущим током через сопротивление связи экрана.

В связи со сложностью расчета сопротивления связи оплеточных кабельных экранов, его значения оцениваются весьма грубо и на практике их всегда определяют экспериментально.

Механизм 2 (обусловлен проникновением радиального электрического поля).

В случае, когда экран кабеля имеет отверстия, радиальное электрическое поле с увеличением частоты частично проникает внутрь кабеля. Данный процесс может характеризоваться источником тока.

Для многих коаксиальных кабелей этот механизм на частотах менее нескольких МГц не имеет значения, когда кабельная система работает на нагрузку 50 Ом.

Влияние радиального электрического поля в виде дополнительного эквивалентного генератора наводки определено через проводимость связи.

Полная проводимость связи обуславливает ток короткого замыкания, наведенный во внутреннем проводник (когда внутренний проводник накоротко соединен с экраном). Полная проводимость связи для несплошных экранов учитывает емкостную связь между внутренним проводником и землей.

В экранированных коаксиальных кабелях, имеющих эксцентриситет, возникает связь с поперечным магнитным полем. Напряжение наводки таково, как если бы центральный проводник был заземлен линией передачи, состоящей из параллельных проводов, находящихся на расстоянии, равном эксцентриситету.

Для коаксиальных кабелей нельзя достаточно точно определить эксцентриситет. Обычно он зависит от технологии изготовления, условий эксплуатации и т. п.

Таким образом, анализируя все рассмотренные механизмы формирования помехи в коаксиальном радиочастотном кабеле, можно сделать следующие выводы:

1. Помеха за счет влияния поперечного магнитного поля обусловлена в основном технологическими отклонениями при производстве кабеля и процессами старения в время эксплуатации.

2. Помеха за счет влияния радиального электрического поля обусловлена условиями эксплуатации кабеля (зависит от окружающей среды).

В то же время обусловлено, что обе эти помехи связаны с некоторыми свойствами и экрана.

3. Помеха за счет влияния тока в оболочке обусловлена в основном конструкцией и свойствами собственно экрана (однако и она тоже зависит, как это будет показано ниже, от свойств других элементов конструкции кабеля).

5. Заключение

В результате проделанной работы была изучена теория экранирования, включающая в себя описание электрического и магнитного полей, процессов происходящих при экранировании, материалов из которых изготавливаются экраны для защиты от магнитных и электрических полей. Также были изучены характеристики экранирования и механизма формирования помех в кабеле при внешнем влиянии.

Список литературы

1. Михайлов М.И., Разумов Л.Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. – М.: Издательство «Связь», 1967.
2. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля, 3-е изд. перераб. – М.: «Энергия», 1968.
3. Гроднев И.И., Сергейчук К.Я. Экранирование аппаратуры и кабелей связи. – Связьиздат, 1960.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ПАЗА СТАТОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Терновская С.А., Муравлева О.О.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mmst@mail2000.ru

При проектировании конструкции электрической машины инженер осуществляет направленное исследование и изменение конструктивных параметров с целью получения заданных технических характеристик. В процессе преобразования исходной конструкции электрической машины (ЭМ) в искомое конструктивное решение требуется многократно проверить степень приближения текущих технических характеристик показателям, заданным в техническом задании. Итак, на пути проектирования конструкции требуется многократно прибегать к частному анализу промежуточных результатов.

Для расчётного анализа ЭМ используется поверочный расчёт, при котором известна геометрия машины, свойства используемых материалов, а также обмоточные данные и параметры питания. Требуется найти различные характеристики двигателя (параметры номинального режима, энергетические, пусковые характеристики и т. д.). Таким образом, проектирование машины можно осуществить многократным повторением поверочных расчётов, варьируя исходные данные и проводя многократные тесты с последующим выбором наилучшего варианта.

Анализ поперечной геометрии двигателей показал, что некоторые размерные соотношения в двигателе мало зависят от того, какая фирма спроектировала двигатель, какого он габарита и т. д. Именно эти относительные размеры рационально использовать в качестве исходных данных для проектного расчёта. Данные параметры изменяются в очень узких пределах, что снижает вероятность проведения расчётов в недопустимой зоне и резко сокращает количество необходимых вычислений.

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к энергосберегающим технологиям приобретают особую значимость задачи совершенствования асинхронных двигателей (АД) для улучшения их энергетических характеристик (КПД и коэффициента мощности).

Цель данной работы: изучить влияние изменения формы паза статора на энергетические характеристики АД.

Далее представлен алгоритм расчета формы паза статора, представленного на рис. 1.

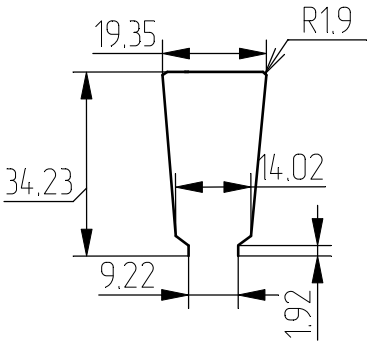


Рис. 1. Паз статора

Базовыми относительными параметрами являются внешний диаметр сердечника статора: $Da_{s*} = \frac{Da_s}{H}$ и внутренний диаметр статора: $Di_{s*} = \frac{Di_s}{Da_s}$.

Следующий параметр – предварительная (верхний индекс «р») индукция в зубце статора B_{zs}^p. Следует отметить, что далеко не все возможные комбинации количества эффективных и элементарных проводников в пазу N_{as} и их диаметров являются практически реализуемыми. Чтобы исключить возможность рассмотрения невозможных (переполненный паз) или нерациональных (полупустой паз) сочетаний обмоточных данных, задаются следующие параметры: диаметр провода d_{cus}, число параллельных ветвей обмотки a_s, коэффициент заполнения паза $K_{зап}$ и индукция в зубцах статора. Введение параметра B_{zs}^p вместо традиционно используемой индукции в воздушном зазоре B_δ^p позволяет уменьшить диапазон варьирования. Так, для АД средней мощности энергоэффективности ie2, 2p=4 индукция $B_{zs}^p = 1,6 \div 1,65$, для энергоэффективности ie1, 2p=4 $B_{zs}^p = 1,72 \div 1,78$ независимо от Da_s и Di_s. Такой «узкой» однозначности для параметра B_δ^p не существует [1].

Параметр B_δ^p позволяет однозначно определить число эффективных проводников в пазу N_{ps}. Диаметр провода задается любой, характерный для рассматриваемого габарита, число же эффективных и элементарных проводов рассчитывается. Получаемые на промежуточных этапах значения чисел проводников являются действительными числами и округлению не подлежат. К реальным значениям обмоточные данные приводятся однократно лишь по окончании процесса проектирования. При этом N_{ps} округляется до ближайшего возможного числа эффективных проводников, а d_{cus} и N_{as} подбираются такими, чтобы коэффициент заполнения $K_{зап}$ был близок к задаваемому. Проиллюстрируем это формулами.

Число последовательных витков фазы: $w_s = \frac{E_0^p \cdot 10^6}{2\sqrt{2} \cdot fk_{ws} \cdot B_g \cdot l_\delta \cdot \tau_s}$.

Число эффективных проводников в пазу: $N_{ps} = \frac{2a_s \cdot m_s \cdot w_s}{Z_s}$.

Число элементарных проводников: $N_{as} = \frac{K_{зап} \cdot Q_{ns}}{d_{изз}^2 \cdot N_{ps}}$.

Ширина зубца у дна паза: $b_{zgs*} = \frac{b_{zgs}}{T_{zs}}$.

Ширина зубца у клиновой части паза статора: $K_{zks*} = \frac{b_{zks}}{b_{zgs}}$.

Ширина зубца в нижней части простой клетки ротора, некруглый паз: $K_{zgr*} = \frac{b_{zgr}}{b_{zgs}} \cdot \frac{Z_r}{Z_s}$.

Ширина зубца в верхней части простой клетки ротора, не круглый паз: $K_{zkr*} = \frac{b_{zkr}}{b_{zgr}}$.

Ширина дна паза простой клетки ротора: $b_{zgs*} = \frac{b_{zgs}}{t_{zs}}$.

Заметим, что при $K_{zgr} = 1$ индукция в нижней части зубцов статора и ротора одинаковая. Индукцию в зубце ротора у дна паза желательно сделать близкой к индукции в зубце статора, а индукция у верха паза зачастую бывает занижена в силу увеличения сопротивления ротора для обеспечения высоких пусковых характеристик.

Для проектирования был выбран АД с короткозамкнутым ротором 4А160S2У3.

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Полученная методика проектного расчёта минимизирует число варьируемых переменных, резко уменьшает диапазон варьирования, защищает алгоритм оптимизации от попадания в недопустимую область, убыстряет вычислительный процесс.

2. Данный проектный расчёт при проектировании энергоэффективной серии асинхронных двигателей показывает, что время поиска опти-

мального варианта сокращается в 2–3 раза по сравнению с расчётами, выполняемыми по «классической» методике поверочного расчёта.

3. Применение более тонкой пазовой изоляции приводит к росту коэффициента заполнения паза, улучшению теплопроводности от обмотки к станине, росту КПД.

4. При изменении формы паза статора происходит улучшение энергетических показателей за счет уменьшения электрических потерь, приходящихся на обмотку статора и ротора, это в свою очередь ведет к снижению годовых затрат на активные потери электроэнергии, которые являются основными расходами при эксплуатации АД.

5. Энергоэффективный двигатель обладает лучшими энергетическими характеристиками, а внедрение таких двигателей является важнейшим мероприятием в деле ресурсосбережения.

Список литературы

1. Кобелев А.С., Кудряшов С.В. Математическая модель электромагнитного расчета асинхронных электродвигателей для работы с алгоритмом оптимизации // Электротехника. – 2008. – № 11. – С. 28–35.
2. Муравлева О.О., Тютева П.В. Совершенствование асинхронных двигателей для регулируемого электропривода // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 2. – С. 177–181.
3. Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

СИНТЕЗ И НАСТРОЙКА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОПРИВОДА. АППРОКСИМАТОР НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доцент

Томский Политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30, т. 563–255
E-mail: timvv@sibmail.com

Введение

В последние годы все чаще в научной литературе встречается такой термин как искусственные нейронные сети (ИНС). Это связано с тем, что многие специалисты из России и других стран стали заниматься этим вопросом. С помощью ИНС можно прогнозировать поведение рынка, решать задачи по классификации и распознаванию образов, а также они находят применение и в электроприводе. Как видно спектр решаемых задач с помощью ИНС достаточно большой.

Цель исследования и постановка задачи

Одним из самых простых свойств ИНС является аппроксимация, которая и будет исследована в данной работе. Довольно часто встречается такая задача, где имеются некие точки, которые были рассчитаны или получены опытным путем, и нужно получить решение не только в этих точках, но и в промежуточных. Примером такой задачи может являться адаптивный регулятор, с переменным коэффициентом усиления, где требуется его плавное изменение.

Для простоты рассмотрим пропорциональный регулятор, у которого коэффициент усиления зависит от двух входных координат.



Рис. 1

Математический аппарат

Так как в системе два входа, то выбирается ИНС с двумя нейронами во входном слое и одним в выходном. Количество нейронов в скрытом слое примем шесть, а также введем сдвиги. В итоге формируется сеть вида 2–6–1, которая представлена на рис. 2.

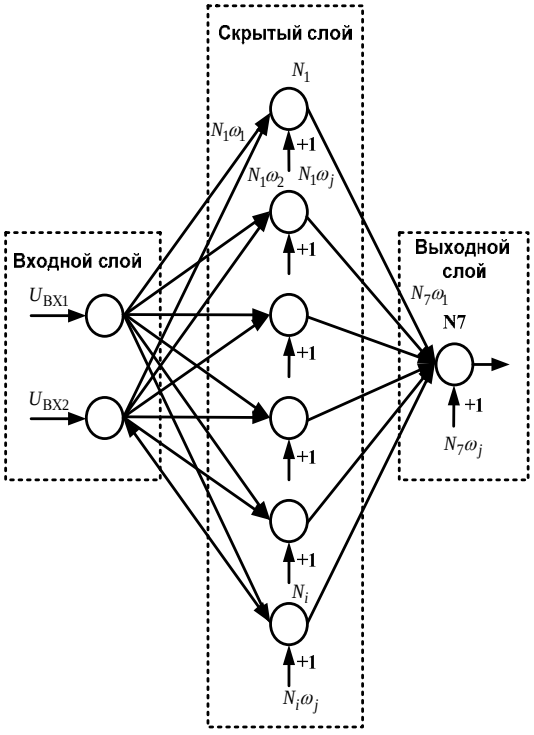


Рис. 2 Структурная схема сети(2–6–1)

На каждый нейрон, который находится в скрытом слое, приходят по три связи сумма, которых определяется по следующей формуле:

$$s_i = U_{\text{ВХ}} \cdot N_i\omega_j + U_{\text{ВХ1}} \cdot N_i\omega_j + (+1) \cdot N_i\omega_j$$

где i – номер нейрона, j – номер веса.

В качестве функции активации используется сигмоидальная функция и выход нейрона вычисляется по данному выражению:

$$y_i = \frac{1}{1+e^{-a \cdot S_i}}$$

где a – коэффициент сигмоиндальной функции.

Сумма связей, которая приходит на нейрон N7, определяется по следующему выражению:

$$s_7 = y_1 \cdot \omega_1 + y_2 \cdot \omega_2 + y_3 \cdot \omega_3 + y_4 \cdot \omega_4 + $$
$$+ y_5 \cdot \omega_5 + y_6 \cdot \omega_6$$

Выход сети:

$$y_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{1+e^{-a \cdot S_7}}$$

Обучение ИНС проводилось «с учителем» по схеме, представленной на рис. 3. На вход сети подавался тренировочный шаблон, затем сравнивалось выходное значение с заданным и вычислялась ошибка. В зависимости от величины ошибки производилась корректировка весов.

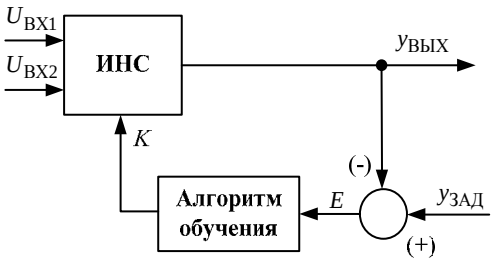


Рис. 3

Обучение сети строится по правилу обратного распространения ошибки. Величина градиента ошибки определяется как

$$E_{\text{ВЫХ}} = (y_{\text{ВЫХ}} - y_{\text{ЗАД}}) \cdot y_{\text{ВЫХ}} \cdot (1 - y_{\text{ВЫХ}})$$

Коррекция весов в выходном слоем:

$$E_i = E_{\text{ВЫХ}} \cdot N_7\omega_j \cdot (1 - y_i)\,.$$

Коррекция весов синапсов в скрытом слое:

$$N_i\omega_j = N_i\omega_j - n \cdot U_{\text{ВХ1}} \cdot E_i\,,$$

где n – скорость расчета

Скорость расчета определяет величину, на которую мы приблизимся к желаемому результату за одну итерацию. При задании n в диапазоне 0,1–0,001 потеряем в скорости, но получим выигрыш в точности. При исследовании данной ИНС скорость расчета была принята n=0,1.

В табл. 1 представлен тренировочный шаблон, который состоит из $U_{\text{ВХ1}}, U_{\text{ВХ2}}$,а также контрольный набор $U_{\text{ВХ3}}$ благодаря которому можем наблюдать как ведет себя ИНС в промежуточных точках. Они были получены путем изменения входного вектора $U_{\text{ВХ1}}$ при $U_{\text{ВХ2}} = \text{const}$

Таблица 1

№	$U_{\text{ВХ1}}$	$U_{\text{ВХ2}}$	$U_{\text{ВХ3}}$	$k_{\text{РЕГ}}$
1	0,2	0,6	0,25	0,4
2	0,4	0,7	0,45	0,45
3	0,6	0,8	0,65	0,5
4	0,8	0,85	0,86	0,6
5	0,85	0,9	0,9	0,7

Исследование проводилось в программной среде Borland Delphi 7 с использованием стандартных библиотек.

После обучения сети были получены результаты, представленные на рис. 4 и 5. Величина ошибки в тренировочных точках меньше 2.3%, что для алгоритма обратного распространения ошибки является приемлемым.

Для уменьшения ошибки и количества итераций можно прибегнуть к нахождению ошибки по методу Левенберга-Марквардта.

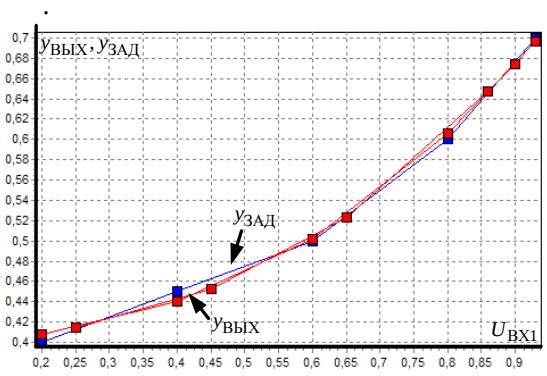


Рис. 4

График, представленный на рис. 5 показывает изменение ошибки относительно входной координаты $U_{\text{ВХ1}}$. В процессе исследования было установлено, что при длительном обучении ошибка на одном из краев графика падает, а на другом растет. Это говорит о том, что сеть переобучилась. Для того чтобы этого избежать необходимо прекращать обучение сети, когда суммарная ошибка начинает расти.

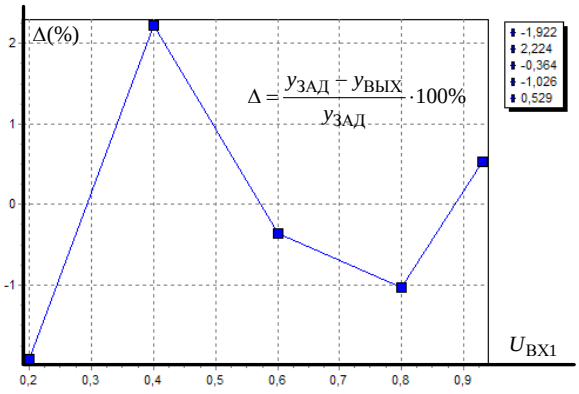


Рис. 5

Основным преимуществом применения ИНС для решения данной задачи является то, что полу-

ченный результат представлен не виде таблицы данных, а в виде аналитической функции. Это дает возможность работать с любым шагом и в режиме реального времени.

Плавное изменение коэффициента регулятора позволяет электроприводу приобрести адаптивные свойства.

Список литературы

1. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления: Дис... канд. техн. наук. – Харьков, 1998. – 169 с.
2. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Хакрьков: ОСНОВА, 1997. – 112 с.

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Тулендинова А.К.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: asem.86@sibmail.com

На перекачку центробежными насосами чистых и сточных вод в России расходуется 120 – 130 млрд кВт·ч электроэнергии. Для перекачки воды и других жидкостей, потребляют до 40–50 % всей вырабатываемой электроэнергии. Работа этих систем отличается неравномерным потреблением воды, тепловой энергии, воздуха в течение суток в зависимости от погодных условий, времени года [1].

Для эффективной работы насосного агрегата необходимо правильно выбрать основные его составляющие. К основному оборудованию относятся насосы и приводы насосов.

Цель работы – выбрать асинхронный электропривод для насосных агрегатов.

Обычно насосы оснащаются нерегулируемым электроприводом. Регулирование подачи осуществляется при этом практически единственным способом – дросселированием на стороне нагнетания.

Регулирование подачи насосов применяют в следующих случаях.

1. При необходимости регулирования количества жидкости, подаваемой насосом, по требованиям технологического процесса или в связи со случайным изменением потребности в жидкости.

2. Если не требуется во время работы регулирование подачи жидкости насосом, но обеспечение требуемой подачи связано с первоначальной подрегулировкой насоса. Когда насос работает при неизменной скорости, то простейшим способом регулирования его подачи является дросселирование, т. е. неполное открытие задвижки на напорном трубопроводе насоса.

Однако большинство систем имеют вероятностный график водоснабжения. Существующие системы с нерегулируемым электроприводом не обеспечивают заметного снижения потребляемой мощности при уменьшении расхода воды, а также обусловливают при этом существенный рост давления (напора) в системе, что приводит к утечкам воды и неблагоприятно сказывается на работе технологического оборудования и сетей водоснабжения.

Сравним частотно-регулируемый привод как наиболее эффективный способ регулирования с дросселированием. Мощность, потребляемая насосом, определяется по формуле

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho}{\eta},$$

где P – мощность, Вт; Q – подача, м^3/с; H – напор, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; ρ – плотность жидкой среды, кг/м^3; η – КПД насоса.

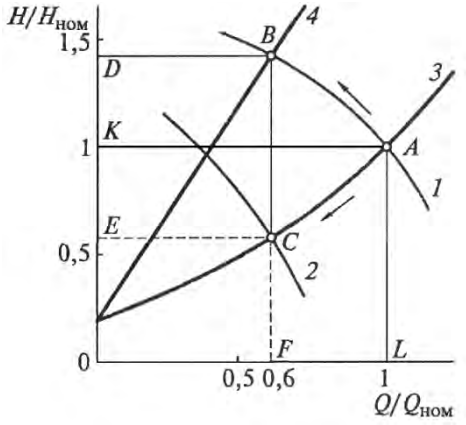


Рис. 1. Характеристики производительности центробежного насоса при дроссельном и частотном регулировании

На рис. 1 показаны характеристики производительности центробежного насоса при дроссельном и частотном регулировании. Кривая *1* характеризует работу нерегулируемого электропривода на номинальной частоте вращения, кривая *3* характеризует работу магистрали при полностью открытой заслонке. Значения расхода и напора воды приведены на рис. 1 в относительных единицах при использовании в качестве базовых величин номинального расхода $Q_{ном}$ и номинального напора $H_{ном}$. При номинальном расходе и напоре насос работает в точке *A*, а мощность, потребляемая насосом, пропорциональна площади прямоугольника 0*KAL*. С уменьшением расхода при нерегулируемом электроприводе (на рис. 1 для примера показан расход воды, составляющий $0{,}6H_{ном}$)

за счет дроссельного регулирования происходит изменение сопротивления магистрали (кривая *4)*, насос работает в точке *B* кривой *1*, что приводит к возрастанию напора, который становится больше номинального, а мощность насоса, пропорциональная площади прямоугольника 0*DBF*, несущественно отличается от мощности, потребляемой при номинальном расходе, следовательно, и энергопотребление при уменьшенном расходе изменяется незначительно или практически не изменяется. На то обстоятельство, что при дроссельном регулировании расхода (подачи) воды возрастает напор (давление) в системе и практически не удается снизить энергопотребление, следует обратить особое внимание [2].

Дополнительным аргументом в пользу необходимости внедрения на насосных станциях энергосберегающих технологий являются существенные потери (утечки) воды в системе водоснабжения, чему способствует повышение давления (напора) в системе при дроссельном регулировании насосов.

Таким образом, приведенные соображения объективно подтверждают преимущества систем автоматического управления насосными агрегатами перед системами дроссельного регулирования. Такое управление осуществляется путем автоматического поддержания необходимого технологического параметра, в частности, напора (давления) при изменяющемся расходе воды за счет применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов [2].

Исходя из выше изложенного, можно придти к выводу, что наиболее экономичным и эффективным является регулируемый привод. Далее рассмотрим типы регулируемых электроприводов их достоинства и недостатки.

Современный электропривод является не только энергосиловой основой, позволяющей обеспечить производственные механизмы необходимой механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как задачи по реализации качества производственных процессов в настоящее время в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемыми электроприводами в сочетании с системами технологической автоматики. В связи с возрастанием цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, и ограниченными возможностями увеличения мощности энергогенерирующих установок проблема энергосбережения, в том числе снижения электропотребления, приобретает особую актуальность.

Основным типом регулируемого электропривода, является частотно-регулируемый асинхронный электропривод–система «полупроводниковый преобразователь частоты–асинхронный двигатель» (ППЧ– АД). Однако наряду с этим электроприводом в некоторых случаях для решения отдельных производственных задач и энергосбережения находит применение система «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТПН–АД), обеспечивающая регулирование первой гармоники напряжения, подводимого к статору.

В эксплуатации также находятся электроприводы на основе асинхронных двигателей с фазовым ротором, регулируемые за счет изменения добавочных сопротивлений в роторных цепях – «устройство реостатного регулирования – асинхронный двигатель с фазовым ротором» (УРР–АДФР) [2]. Однако этот способ регулирования связан со значительными потерями энергии при регулировании скорости вращения и поэтому малоэкономичен. Если, например, скорость двигателя снижена вдвое по сравнению с номинальной, то примерно половина всей потребляемой из сети мощности теряется в регулировочных резисторах. Следовательно, с ростом регулировочного сопротивления при одном и том же скольжении снижается КПД.

Частотный способ регулирования скорости асинхронных двигателей является самым экономичным в сравнении с другими известными способами. Возможность регулирования скорости АД изменением частоты следует из выражения скорости идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{p_{\text{п}}} \cdot f_1,$$

где f_1 – частота напряжения обмотки статора; $p_{\text{п}}$ – число пар полюсов двигателя.

Частотное регулирование скорости вращения вала асинхронного двигателя осуществляется путём изменения частоты и амплитуды трёхфазного напряжения, поступающего на электродвигатель. Таким образом, меняя параметры питающего напряжения (частотное управление), можно делать скорость вращения двигателя как ниже, так и выше номинальной. Во второй зоне (частота выше номинальной) максимальный момент на валу обратно пропорционален скорости вращения.

Преимущества применения частотно-регулируемого электропривода:

- экономия электроэнергии от 30 до 60%.
- исключение гидроударов, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры.
- отсутствие больших пусковых токов, полная защита электродвигателей насосных агрегатов, работа электродвигателей и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, что значительно увеличивает срок службы электродвигателей.
- значительная экономия воды за счёт оптимизации давления в сетях и уменьшения разрывов трубопроводов.
- возможность полностью автоматизировать насосные станции.

Список литературы

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.: ил.
2. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Тютева П.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: TyutevaPV@tpu.ru

Направления развития электрических машин обусловлены глобальными мировыми процессами: ростом цен на энергоносители, истощением мировых запасов жидких углеводородов. Эти процессы обуславливают, с одной стороны, ужесточение энергетических требований к промышленному оборудованию, а, с другой стороны, поиск энергосберегающих технологий и разработку энергосберегающих электрических машин, предназначенных для эксплуатации в составе регулируемого электропривода [1].

Таким образом, энергоэффективные двигатели – это машины, которые совершают больше работы на единицу энергии, чем обычные аналоги (они имеют более высокий КПД), а также обладают повышенной надежностью, более низкими показателями по уровню шума и вибрации.

Целью данной работы является оценка изменения надежности при проектировании энергоэффективных асинхронных двигателей.

Для создания энергоэффективных АД для работы в системе регулируемого электропривода возможны следующие пути их проектирования [2]:

• без изменения поперечной геометрии при изменении длины сердечников статора и ротора, а также изменении обмоточных данных машины;

• использование АД большей высоты оси вращения.

Эти пути проектирования энергоэффективных АД наиболее экономически целесообразны. Они не требуют дополнительных вложений в переоборудование производства и обучение персонала. Данные способы проектирования вызывают дополнительный расход активных материалов при изготовлении АД, что обуславливает возрастание стоимости машины. Возрастание стоимости АД компенсируется за счет меньших затрат на период эксплуатации, повышенной надежности.

Расчеты производилось на основе компьютерной модели проектирования энергоэффективных асинхронных двигателей. Исходными параметрами принята поперечная геометрия базовых машин: внешний и внутренний диаметры статора и пазовые зоны, характеристики применяемых активных, изоляционных и конструктивных материалов. В качестве выходных параметров математической модели приняты: КПД – η, коэффициент мощности – $\cos\varphi$, превышение температуры обмотки статора Θ_m, единичный показатель надежности. В качестве единичного показателя надежности принято увеличение срока службы изоляции при фактических условиях $T_{сл}/T_0$.

Нагревостойкость определяется скоростью старения изоляции в условиях повышенных температур, особое значение приобретают методы расчета скорости старения и на этой основе – срока службы изоляции. Установлено опытным путем [3], что для классов изоляции выше А превышение температуры на каждые 10…12 ^{0}С сверх предельно допустимого превышения сокращает срок службы изоляции вдвое по отказу по старению. Вследствие своей простоты данное соотношение находит широкое применение для ориентировочных расчетов. Тогда увеличение срока службы изоляции можно рассчитать:

$$\frac{T_{сл}}{T_0} = e^{-\frac{\ln 2}{\Delta\Theta}\cdot\Theta_i}.$$

Расчет производился на основе разработанной компьютерной модели проектирования энергоэффективных АД. В качестве базовых двигателей были выбраны следующие машины серии 4А: 4А80В4, 4А90L4, 4А100S4, 4А100L4, 4А112М4, 4А132S4, 4А132М4, 4А160S4, 4А160М4, которые определяют отрезок серии АД средней мощности от 1,5 до 18,5 кВт.

Снижение потерь при работе АД снижает также среднее превышение температуры обмотки статора. Чем выше уровень энергоэффективности, тем больше снижаются электрические потери в статоре и роторе, и снижается среднее превышение температуры обмотки статора. На рис. 1 приведены данные для варианта проектирования энергоэффективных АД, связанного с изменением длины сердечников и обмоточных данных при сохранении поперечной геометрии машины, а на рис. 2 – при использовании АД большей высоты оси вращения.

Значение среднего превышения температуры обмотки статора позволяет судить о надежности спроектированной электрической машины. В среднем при реализации способа проектирования энергоэффективных АД при изменении длины сердечников и обмоточных данных при переходе на уровень EFF2 снижение превышения температуры обмотки статора происходит на 15,8 ^{0}С, а при проектировании АД с уровнем EFF1 на 39,9 ^{0}С. Повышение уровня энергоэффективности при использовании АД большей высоты оси вращения снижает среднее значение превышения температуры в обмотке статора. Для уровня EFF2 снижение составляет в среднем 22,0 ^{0}С, а для EFF1 – 31,0 ^{0}С.

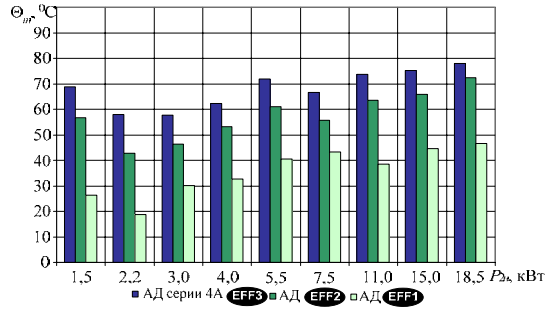


Рис. 1. Изменение превышения температуры обмотки статора при сохранении поперечной геометрии

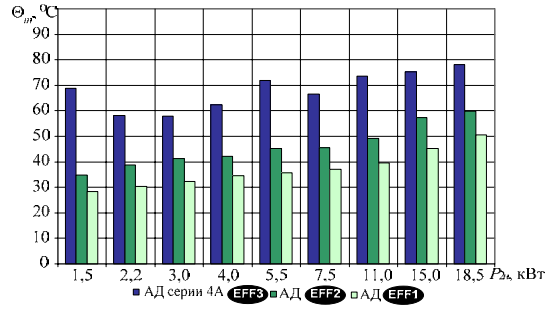


Рис. 2. Изменение превышения температуры обмотки статора при использовании АД большей высоты оси вращения

Снижение превышения температуры обмотки статора при переходе на различные уровни энергоэффективности повышает срок службы изоляции по сравнению с базовыми АД. На рис. 3 и 4 приведены результаты расчета, показывающие во сколько возрастет срок службы изоляции при использовании энергоэффективных АД взамен базовых.

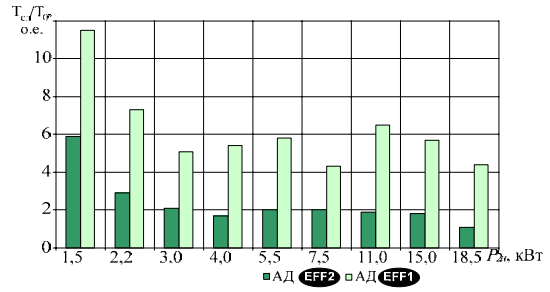


Рис. 3. Увеличение срока службы изоляции при использовании энергоэффективных АД при сохранении поперечной геометрии

Увеличение срока службы изоляции происходит за счет снижения температуры нагрева АД. Для уровня EFF2 анализ показывает небольшое преимущество метода проектирования энергоэффективных АД при использовании АД большей высоты оси вращения, срок службы изоляции оказывается выше в среднем на 30 %, что связано с более серьезным изменением массогабаритных показателей, чем при способе связанном с изменением длин сердечников и обмоточных данных. Поэтому оба представленных способа проектирования могут быть использованы для создания энергоэффективных АД с уровнем EFF2. При переходе на уровень EFF1 увеличение срока службы оказывается выше у способа связанного с изменением длин сердечников и обмоточных данных. Однако данный способ не может быть рекомендован для проектирования АД с уровнем EFF1, т. к. он требует изменения длин сердечников и обмоточных данных сверх рекомендованных пределов.

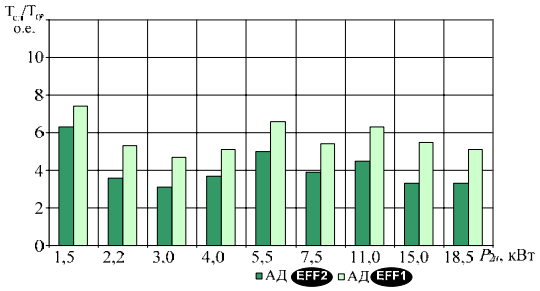


Рис. 4. Увеличение срока службы изоляции при использовании энергоэффективных АД большей высоты оси вращения

Поводя итоги расчета, следует отметить, что энергоэффективные АД обладают не только лучшими показателями энергоэффективности, но и повышенной надежностью. Энергоэффективные АД обладают не только повышенными значениями КПД и коэффициента мощности, но и лучшими значениями срока службы изоляции по сравнению с общепромышленными машинами. С точки зрения повышения срока службы изоляции, для проектирования АД с уровнем EFF2 могут быть использованы оба способа создания энергоэффективных машин. Однако способ проектирования при изменении длин сердечников и обмоточных данных не может быть рекомендован для проектирования АД с уровнем энергоэффективности EFF1, т. к. требуется изменения длин сердечников и обмоточных данных сверх рекомендованных величин.

Список литературы

1. Гловацкий, А.В., Кубарев, Л.П., Макаров, Л.Н. Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем на их основе // Электротехника. – 2008. – №4. – С. 2–8.
2. Муравлева, О.О., Тютева, П.В. Особенности проектирования асинхронных двигателей в современных условиях // Проблемы Энергетики, Казань, 2008. – №7–8/1. – С. 173 – 183.
3. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин: учебное пособие / Н. Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Углянюк В.В., Муравлева О.О.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: sever_o_vostok@mail.ru

Во второй половине первого десятилетия XXI в. Международные комитеты по экологии и энергосбережению (IEC, IEA, ACEEE) и их инициативы (SEEEM, MEPS, Nema Premium Plan, ECCP) приобрели значительное влияние. Анализ докладов международных конференций, посвященных энергоэффективности, позволяет утверждать, что рекомендательные нормы высокой энергоэффективности в ближайшее время перерастут в законодательные акты. Российские предприятия элетромашиностроения должны быть к этому готовы.

Европа и Россия, весьма отстают на пути разработки энергоэффективных двигателей. Среди фирм, их производящих, нет отечественных предприятий. Россия пока не присоединилась и к странам, поддерживающим минимально допустимый уровень КПД [(MEPS)]. Вот несколько стран-участниц MEPS: США, Канада, Китай, Австралия, Израиль, причем в США и Канаде обязательный уровень КПД согласно EACT примерно соответствуе энергоэффективности ie2 по IEC 60034-30 [1].

Важно подчеркнуть, что проблема энергосбережения для России особенно актуальна. Так, потенциал энергосбережения России по данным Минпромэнерго и Гринпис оценивается в 360–430 млн т условного топлива в год. Это составляет 30% внутреннего потребления энергии в стране. Потенциал энергосбережения России сравним с объемом всей экспортируемой нами нефти и нефтепродуктов. При этом Российская экономика является одной из самых энергоемких в мире. По данным Международного энергетического агентства, энергоемкость ВВП России в 11 раз выше, чем Германии, в 6 раз выше, чем в Канаде, в 4 раза больше, чем Польше. Россия потребляет более 5% всей мировой энергии, около 1000 ТВт/ч в год. Электродвигатели потребляют около 60% всей электроэнергии. Для России это около 600 ТВт/ч в год. Внедрением энергоэффективных двигателей в России (без учета эффекта от регулируемого электропривода) можно сэкономить около 6 ТВт/ч в год или более 12 млрд руб.

Без преувеличения разработка энергоэффективных асинхронных двигателей (АД), призванных снизить энергоёмкость экономики РФ и реализовать потенциал энергосбережения – проблема государственного масштаба.

Учитывая современные тенденции, наиболее эффективным является использование энергоэффективных двигателей в составе частотно-регулируемых приводов. Это дает снижение массы, габаритов, стоимости, надежности, улучшение динамических характеристик и наивысший КПД.

Целью данной работы является поиск путей решения проблемы энергосбережения за счет модернизации асинхронного двигателя и оптимизации его энергетических характеристик.

В настоящее время одной из основных тенденций при проектировании энергоэффективных АД является повышение коэффициента полезного действия и коэффициента мощности для обеспечения эффективного энергосбережения. Поэтому при выполнении исследований и разработок в области модернизации и оптимизации асинхронных двигателей необходимо создание специальных методик для определения их оптимальных параметров, из условия получения максимальных энергетических характеристик (КПД и $\cos\varphi$), и расчета динамических характеристик (время пуска, нагрев обмоток и т. д.). В результате теоретических исследований важно определить наилучшие абсолютные и удельные энергетические характеристик АД.

Увеличение массы активных материалов при их модернизации дает возможность улучшить энергетические показатели АД. Для обеспечения эффективного энергосбережения при проектировании энергоэффективного электродвигателя возможны следующие способы: совершенствование АД без изменения поперечного сечения; совершенствование АД с изменением поперечной геометрии статора и ротора; применение двух подходов одновременно: изменение поперечной геометрии статора и ротора и изменение их активной длины.

Совершенствование и оптимизация АД с изменением геометрии статора и ротора возможно даст больший эффект, спроектированный электродвигатель будет иметь лучшие энергетические и динамические характеристики. Однако при этом финансовые затраты на его модернизацию и переоборудование производства для его выпуска составляет значительные суммы. Поэтому на первом этапе рассмотрим мероприятия которые не требуют больших финансовых затрат, но при этом позволяют обеспечить реальное энергосбережение.

Одним из таких мероприятий можно считать совершенствование АД без изменения поперечного сечения. Именно увеличение длины активной части статора и ротора позволит нам обеспечить высокие показатели энергоэффективности.

Была произведена модернизация АД с короткозамкнутым ротором за счет изменения его активной длины. В качестве базового двигателя взят асинхронный двигатель АИР112М2 мощностью 7,5 кВт. Для нахождения оптимальной длины были проведены расчеты базового и измененных двигателей, без изменения геометрии поперечного сечения, с заданной мощностью ($P_{2н}$).

Однако изменение только длины сердечников статора и ротора, несмотря на некоторое увеличение КПД, не является наиболее эффективным путем совершенствования АД. Более рациональным является изменение длины сердечников статора и ротора и изменение обмоточных данных двигателя (число витков обмотки W и сечение повода обмотки статора $q_{эф}$).

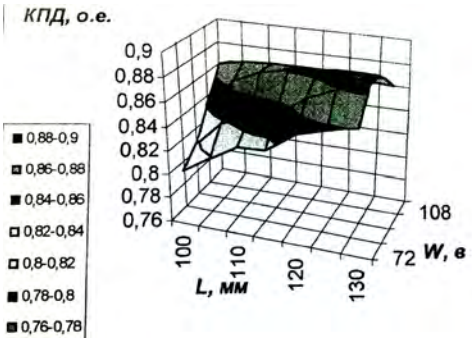


Рис. 1. Зависимость КПД от изменения длины и числа витков

Для решения задачи изменения обмоточных данных АД были оставлены без изменения наружный диаметр сердечника статора (D_a), размеры пазов статора и ротора. В качестве варьируемых величин были приняты число эффективных проводников в пазу статора ($u_п$) и поперечное сечение провода обмотки статора (), при этом ограничивающими факторами являлись коэффициент заполнения паза ($k_З$ = 0,7 ÷ 0,75) и плотность тока в статоре (J = (5 ÷ 6) × 10^6 А/м^2 [2]. Значения длины сердечника статора принимались в диапазоне l = 100 ÷ 130%. Диапазон изменения витков обмотки статора принимался равный W = 60 ÷ 110%. У базового двигателя значение W = 108 витков и $h_н$ = 0,875.

На рис. 1 представлен график изменения значения КПД при изменении обмоточных данных и активной длины двигателя. При изменении количества витков обмотки статора, в сторону уменьшения, происходит резкое падение значений КПД до 0,805 и 0,819 у двигателей с длиной 100% и 105% соответственно. Двигатели в диапазоне изменения длины l = 110 ÷ 130% имеют значения КПД выше, чем у базового двигателя, например при W = 96$h_н$ = 0,876, 0,885 и W = 84 l = 125 ÷ 130% имеют $h_н$ = 0,876, 0,885. При дальнейшем уменьшении числа витков $h_н$ снижается ниже базового. Увеличение количества витков выше базового также приводит к снижению величины $h_н$. Исходя из вышесказанного, целесообразно рассматривать двигатели с длиной в диапазоне 110 ÷ 130% , и при снижении количества витков обмотки статора на 10%, что соответствует W = 96 витков.

Итак, подводя итоги, следует отметить, что наибольшее значение КПД и cosφ можно получить, модернизируя АД путем увеличения длины сердечников статора и ротора и изменения обмоточных данных.

Список литературы

1. Кобелев А.С. Концепция разработки электромагнитного ядра асинхронных электродвигателей энергоэффективных серий / Электотехника. – 2008. – №5/ – С. 11–23.
2. Асинхронные двигатели общего назначения / Е.П. Бойко, Ю.В. Гаинцев, Ю.М. Ковалев и др.; под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. – М: Энергия, 1980. – 488 с.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ НАМОТКИ ТОНКОЙ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ

Усов С.В.

Научный руководитель: Мещеряков В.Н., д.т.н., профессор

Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: lip_usov_sv@mail.ru

В машинах и механизмах, предназначенных для перемотки полосового материала, таких, как листовой металл, возникает задача регулирования натяжения. К основным механизмам станов и агрегатов, участвующих при рулонном способе производства и отделки холоднокатаного металла относятся моталки и разматыватели. Электропривод моталок служит для создания и поддержания постоянного натяжения, а также для намотки обрабатываемой полосы. Напряженное состояние полосы в рулоне по мере намотки необходимо изменять по различным закономерностям для формирования внутренних витков рулона, плотной смотки и исключения образования дефектов при смятии рулона с последующей его отбраковкой. В большинстве случаев точность поддержа-

ния натяжения или регулирование его по заданному закону непосредственно влияет на качество продукции.

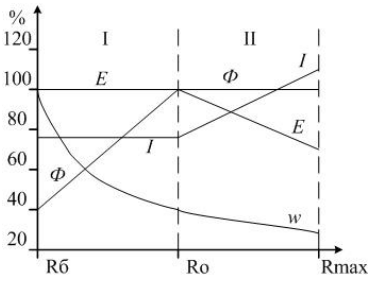


Рис. 1. Характер изменения параметров привода моталки при двухдиапазонном регулировании

Основной особенностью электропривода механизмов намотки полосы (моталка, разматыватель) является непрерывное изменение параметров из-за изменения радиуса рулона. Электропривод механизмов намотки полосы представляет собой образец электропривода постоянной мощности. С увеличением радиуса рулона наматываемой полосы электропривод должен обеспечить пропорциональное увеличение момента двигателя и соответственно снижение его скорости вращения.

Для реализации указанных требований при использовании в качестве приводного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением применяются два основных способа управления электроприводом: однодиапазонный и двухдиапазонный (комбинированный).

В однодиапазонной системе в процессе намотки полосы с постоянным натяжением, требуемое увеличение момента достигается увеличением потока возбуждения двигателя при постоянном токе якоря. Увеличение потока возбуждения обеспечивает требуемое снижение скорости вращения двигателя.

В двухдиапазонной системе снижение частоты скорости вращения электродвигателя моталки при намотке рулона от минимального радиуса $R_б$ до промежуточного R_0, составляющего 60–85% от максимального, производится путем увеличения потока возбуждения при стабилизации тока якоря. Дальнейшее снижение скорости при увеличении радиуса рулона до R_{max} производится понижением напряжения на якоре при номинальном потоке возбуждения. Увеличение момента во втором диапазоне происходит за счет повышения тока якоря выше номинального [1]. На рис. 1 приведены графики изменения параметров привода при изменении радиуса рулона.

Современный этап развития промышленных приводов характеризуется расширением области применения регулируемых электроприводов переменного тока с асинхронным двигателем. Асинхронный двигатель является многоканальным объектом управления с перекрестными связями и нелинейными характеристиками. На характеристики электропривода существенное влияние оказывают электромагнитные процессы в двигателе. Однако использование подхода, основанного на представлении трехфазных систем напряжений, токов и потокосцеплений в виде пространственных (обобщенных) векторов во вращающейся системе координат, позволяет проводить анализ электромагнитных переходных процессов в двигателе [2].

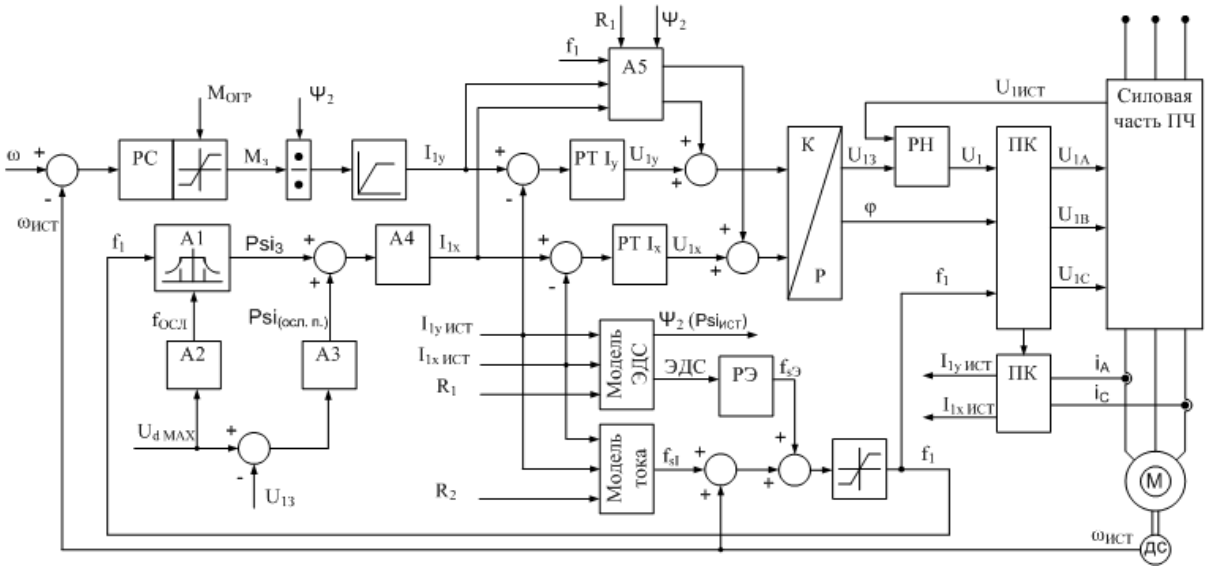


Рис. 2. Структурная схема системы управления с косвенной ориентацией по вектору потокосцепления ротора АД

При ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора внешними управляющими воздействиями для двигателя являются только составляющие пространственного вектора напряжения на статоре (U_{1X}, U_{1Y}), а частота напряжения на статоре f_1 определяется через скорость двигателя $\omega_{ИСТ}$ и частоту скольжения (f_{sI}, $f_{sЭ}$). На основании такого представления

асинхронного двигателя строится система векторного управления, имеющая широкое распространение в практике электропривода переменного тока. Особенностью систем управления с опорным вектором потокосцепления является наличие двух каналов управления: потокосцеплением ротора и скоростью двигателя, что делает их идентичными системам управления двигателем постоянного тока [3]. На рис. 2 приведена структурная схема векторного управления преобразователем частоты Simovert Masterdrives VC фирмы Siemens [4].

Система имеет два разделенных канала управления: угловой скоростью ω и потокосцеплением ротора Ψ_2, а также два подчиненных им внутренних контура регулирования составляющих тока статора I_{1X} и I_{1Y} в осях x, y системы координат, вращающейся с синхронной скоростью магнитного поля двигателя. Блок А5 осуществляет предуправление составляющими статорного тока, а регуляторы РТ I_X , РТ I_Y являются корректирующими звеньями. Входными сигналами для ПЧ являются задание на скорость ω и момент ограничения $M_{ОГР}$.

Рассмотрим работу двухдиапазонной системы управления моталкой с преобразователем частоты (ПЧ).

При работе в первом диапазоне, когда радиус рулона минимален и задание на угловую скорость ω велико, система, работающая на поддержание потокосцепление ротора Ψ_2, с увеличением частоты f_1 увеличивает задание на амплитуду напряжения статора U_{13}. При этом блок А1 переходит на нелинейный участок и снижает значение Psi_3. Характеристика блока А1 записывается при предварительной настройки преобразователя. По значению максимального напряжения U_{dMAX} блоком А2 рассчитывается частота ослабления поля. Для более точного регулирования ослабления поля, при увеличении U_{13} более U_{dMAX} блок А3 (регулятор ослабления поля) выходит из насыщения и уменьшает задание $Psi_{(ОСЛ.\ П.)}$. При снижении суммарного задания на блок А4 задание на ток I_{1X} также снизится и после отработки регулятора тока РТ I_X снизится значение Ψ_2. В свою очередь блок РН (регулятор напряжения) ограничит задание U_{13} и увеличения амплитуды статорного напряжения не последует. Момент двигателя при этом уменьшиться.

При работе во втором диапазоне, радиус рулона увеличится, и задание на угловую скорость уменьшится. Это приведет к насыщению регулятора А3, и переходу блока А1 к ограничению, при этом задание на I_X будет максимальным и система будет работать на поддержание Ψ_2 постоянным.

Современная преобразовательная техника с микропроцессорным управлением позволяет реализовать сложные алгоритмы регулирования асинхронным двигателем, при этом система ПЧ-АД с векторным управлением становится эффективной заменой электропривода постоянного тока для механизмов намотки тонкой стальной полосы.

Список литературы

1. Особенности применения асинхронного электродвигателя для привода моталки полосы / Лимонов Л.Г. // Электротехника. – 2006. – № 11.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием // – М.: Академия, 2007. – 272 с.
3. Осипов О.И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 79 с.
4. Simovert Masterdrives. Compendium Vector Control. Siemens AG, 1998.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Фахретдинов К.Г.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: morphis@sibmail.com

Качество электрических машин представляет совокупность свойств, определяющих их пригодность для эксплуатации. Надежность является важнейшим технико-экономическим показателем качества любого технического устройства, в частности электрической машины, определяющим ее способность безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации. При широком применении электрических машин в различных системах электроприводов и автоматического регулирования производственными процессами в значительной степени определяется надежностью этих машин. И, как следствие, всякие отказы электрических машин наносят ощутимый материальный ущерб. Повышение надежности электрических машин, выпуск которых составляет десятки миллионов в год, является важнейшей научно-технической проблемой.

Цель – определить виды отказов асинхронных двигателей и пути повышения их надежности.

Проблема надежности технических систем за последние два-три десятилетия резко обострилась, что объясняется следующими объективными причинами:

• резким увеличением сложности технических систем, включающих сотни тысяч и даже миллионы отдельных узлов и элементов;

• экстремальностью условий, в которых эксплуатируется изделие (высокие скорости, значительные ускорения, высокие температуры и давления, вибрация, повышенная радиация и т. д.);

• интенсивностью режимов работы системы или отдельных узлов (при высоких температурах, частотах вращения, давлениях, плотности тока и т. д.);

• повышением требований к качеству работы (высокая точность, эффективность и т. д.);

• увеличением ответственности функций, выполняемых системой, высокой экономической и технической ценой отказа;

• полной или частичной автоматизацией и, как следствие, исключением непосредственного контроля человеком функционирования системы и ее элементов.

Традиционный путь исследования надежности электрических машин – исследование статистических данных об отказах, т. е. нарушениях работоспособности изделия.

При исследовании надежности систем или отдельных технических изделий пользуются следующим приемом: система разбивается на блоки, затем определяется надежность каждого блока и результирующая надежность всей системы. Система разбивается на блоки на основании анализа функционального значения и физических процессов, происходящих в системе и блоках, однако нет смысла исследовать все блоки, входящие в систему, так как их надежность обычно сильно различается. Отказы некоторых из блоков практически невозможны и их учет при определении результирующей надежности только усложняет эксперименты и расчеты, практически не меняя окончательный результат. Поэтому при составлении структурных схем пользуются методом «слабых звеньев», выделяя только те блоки, надежность которых в данных условиях минимальна.

Отказы электрических машин можно разделить на конструкционные, технологические (производственные) и эксплуатационные. Конструкционные отказы возникают из-за несовершенства или нарушения правил проектирования и конструирования электрической машины, технологические – из-за нарушения процесса производства или ремонта, эксплуатационные – из-за неправильного применения, отсутствия защиты, нарушений условий эксплуатации электрических машин. Отказы электрических машин могут быть обусловлены старением материалов и износом узлов, а также случайной концентрацией нагрузки, предвидеть которую практически невозможно.

Проблема обеспечения надежности связана со всеми этапами создания электрических машин и периодом их практического использования. Основной задачей при проектировании машины является обеспечение необходимых рабочих характеристик, однако одновременно производится предварительная оценка надежности, обычно в три этапа. Первый этап, который носит качественный характер, состоит из расчета и сравнения количественных показателей надежности для различных вариантов исполнения машины и выбора оптимального варианта. На втором этапе производится уточненный расчет надежности уже выбранного варианта машины. При этом желательно знать точные значения количественных показателей надежности отдельных узлов – это достигается с помощью систематического накопления материала прошлых лет (с последующим прогнозированием надежности нового типа машин). На завершающем третьем этапе производится контроль расчетных показателей путем испытания на надежность опытных образцов (практически только для машин малой и средней мощности).

В подавляющем большинстве случаев (85–95%) отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой межфазной изоляции – 5%, пробой пазовой изоляции – 2%. На подшипниковый узел приходится 5–8% отказов и небольшой процент связан с такими причинами, как распайка выводных концов, скручивание валов, разрыв стержней ротора и др. (Рисунки 1 и 2) [1, 2].

Причины отказов можно дифференцировать следующим образом: технологические – около 35%; эксплуатационные (главным образом неудовлетворительная защита электродвигателей) – 50% и конструкционные – 15%.

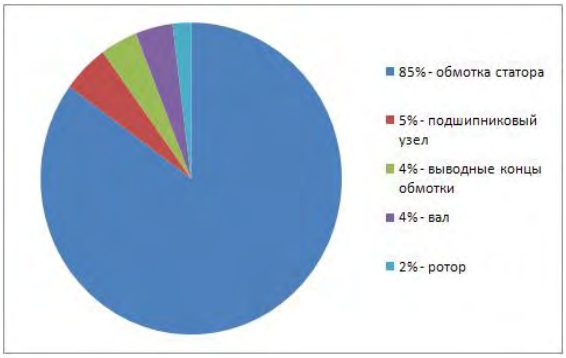


Рис. 1. Статистика отказов асинхронных двигателей

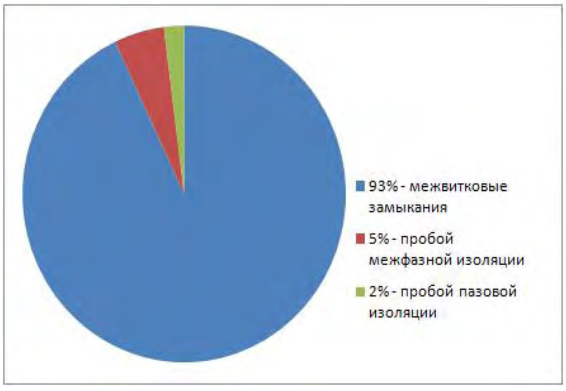


Рис. 2. Повреждения обмотки статора

Отметим основные пути повышения надежности электрических машин:

• улучшение теплового состояния машины путем перехода на более высокий класс нагревостойкости изоляции, выравнивая температуры отдельных частей машины за счет выбора нагрузок, разработки систем охлаждения, применения защиты от перегрузок;

• разработка и внедрение мероприятий по снижению вибраций как электрической машины, так и электромеханической системы в целом;

• повышение качества комплектующих изделий и материалов, в том числе: применение повышенных классов, внедрение пропиточных лаков, обладающих высокой нагревостойкостью, влагонепроницаемостью, пропитывающей и цементирующей способностью, применение специальных проводов с прочной и эластичной изоляцией, сжижение жесткости обмоточных проводов, применение электрощеток повышенной износостойкости, высококачественной миканитовой изоляции, кадмиевой меди и др.;

• планомерное изучение условий эксплуатации и эксплуатационной надежности электрических машин, определение характера, причин и законов распределения отказов;

• наладка и правильная эксплуатация систем защиты электрических машин, предусмотренных при проектировании;

• разработка и совершенствование методов расчетной оценки надежности электрических машин, а также оценки надежности путем испытания на надежность;

• разработка и совершенствование методов расчетной и экспериментальной оценки надежности при хранении и транспортировке;

• разработка методов определения экономически оптимальных показателей надежности.

Обычно повышение надежности электрической машины связано с материальными затратами, поэтому проблема повышения надежности должна решаться на базе технико-экономического расчета. Для каждого типа электрической машины могут быть разработаны экономически оптимальные показатели надежности с учетом условий применения, физического и морального износа, расходов на обслуживание и ремонт и других показателей.

Для неремонтируемых машин увеличение срока службы экономически целесообразно. Исключение составляют случаи, когда требуется применение особо дорогих и дефицитных материалов или трудоемкой технологии, когда чрезмерно растут масса и габарит или когда долговечность машины превышает долговечность системы, в которой эта машина используется.

Для ремонтируемых машин проблема надежности выглядит по-иному: по мере старения узлов электрической машины резко возрастают затраты на ремонт и убытки от простоев и дальнейшее восстановление становится нецелесообразным.

Таким образом, для асинхронных двигателей элементами чаще всего выходящими из строя, являются обмотка статора, подшипниковый узел, выводные концы обмоток, стержни ротора и его вал.

Список литературы

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
2. Надежность асинхронных электродвигателей / под ред. Б.Н. Ванеева. – Киев: Техніка, 1983. – 143 с.

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Фомин А.В.

Научный руководитель: Сипайлова Н.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fominandrey@sibmail.com

Начиная с 80-х годов 20 века, в коммутационной аппаратуре настала эра элегазовых и вакуумных выключателей, которые пришли на смену воздушным, масляным и маломасляным. Обусловлено это тем, что элегазовые и вакуумные выключатели значительно превосходят масляные по ряду факторов: пожаробезопасность, загрязнение окружающей среды, нанесение вреда здоровью человека, массогабаритные показатели, материалоёмкость, количество коммутаций, срок службы, надёжность.

Практически во всех странах мира на сегодняшний день используются в основном элегазовые и вакуумные выключатели. Элегазовому оборудованию традиционно отдают предпочтение во Франции, Италии, странах Скандинавии, Испании, а вакуумному – в Германии, Великобритании, Японии [1].

Как элегазовые, так вакуумные выключатели имеют свои преимущества: вакуумные обладают более высоким коммутационным ресурсом, в то время как элегазовые выключатели обеспечивают более низкие перенапряжения, так как расстояние между контактами больше, чем в вакуумных. Тем

самым облегчается функционирование энергооборудования.

При выборе элегазовых или вакуумных выключателей необходимо обратить внимание, в первую очередь, на условия, в которых планируется их эксплуатация. Например, элегазовые выключатели идеально подойдут для применения в цепях различных электродвигателей ограниченной мощности, в то время как вакуумные выключатели окажутся более уместными в условиях эксплуатации с необходимостью относительно частых коммутаций. Однако, элегазовые выключатели являются на сегодняшний день лучшими для применения на напряжение 110 кВ и выше.

Для применения в высоковольтных выключателях требуется чтобы газ обладал определёнными свойствами: он должен быть химически нейтрален по отношению к применённым в устройстве материалам; он и продукты его разложения не должны быть токсичными; газ должен иметь низкую температуру сжижения, чтобы его можно было использовать при повышенных давлениях и требуемых по условиям эксплуатации температурах; должен обладать хорошей теплоотводящей способностью; диссоциация газа должна быть незначительной; он должен быть пожаро- и взрывобезопасным; также должен быть легкодоступным и недорогим. Кроме этого газ должен обладать хорошей дугогасительной способностью, не должен интенсивно разлагаться в условиях электрического разряда, не должен при разложении выделять свободный углерод, который, оседая на поверхности твёрдых изоляционных элементов конструкции, делает их проводящими. Наконец газ должен обладать высокой электрической прочностью. Элегаз обладает почти всеми требуемыми свойствами. Одним из главных недостатков элегаза является относительно высокая температура сжижения.

На сегодняшний день на рынке элегазовых выключателей работают различные компании, наметились лидеры по их производству. В число таких компаний входят «Таврида Электрик», «Schneider Electric», АББ, Alstom, Siemens и некоторые другие. Эти компании наиболее эффективно занимаются решением вопросов, связанных с развитием выключателей высокого напряжения и занимаются разработками новых, все более совершенных в техническом плане конструкций. За рубежом, на сегодняшний промежуток времени, практически все компании, успешно работающие на рынке высоковольтного оборудования, занимаются выпуском элегазовых выключателей на классы напряжения от 110 до 1150 кВ, на номинальные токи до 5000 А. Токи отключения достигают 63 кА, время отключения снижено до 0,025 с, а время включения до 0,04 с [2].

Тенденция к увеличению производства аналогичного оборудования в последние годы также прослеживается и в России. Разработка и производство элегазовых выключателей последнего поколения освоено рядом предприятий, в частности, Всероссийским электротехническим институтом, научно-исследовательским институтом высоковольтного аппаратостроения, заводом «Уралэлектротяжмаш» (г. Екатеринбург). На «Уралэлектротяжмаш» серийно выпускаются: элегазовые выключатели колонкового типа серии ВГТ на 35, 110 и 220 кВ, баковые элегазовые выключатели серии ВЭБ на 110 и 220 кВ, выключатели элегазовые серии ВГБ на 35 кВ [3]. Продукция завода, является конкурентоспособной на внешнем рынке.

Проведя сравнительный анализ технических параметров отечественных и зарубежных выключателей можно сделать вывод, что и те и другие выпускают выключатели на все классы напряжения, однако отечественные уступают в таких параметрах как номинальный ток и ток отключения. В то же время завод «Уралэлектротяжмаш» выпускает выключатели, которые имеют лучшие показатели времени включения и отключения, чем предлагаемые фирмами ABB и Siemens [2].

В последние годы особое внимание вызывала возможная экологическая опасность элегаза. В этой связи следует отметить, что несмотря на принадлежность к ряду фторидов, элегаз не включен в перечень веществ, которые подлежат запрету или ограничению в применении. Кроме того, общий вклад элегаза в «парниковый» эффект атмосферы составляет не более 0,2 % (а доля элегаза электротехнического оборудования в этом вкладе значительно меньше). Сравнивая с разрешенной последним стандартом МЭК нормой по выбросу элегаза для высоковольтной аппаратуры, которая сократилась с 1 % в год до 0,5 % можно сделать вывод, что никакой опасности нет [4].

Недостаток элегаза, отмеченный ранее (переход в жидкое состояние при сравнительно высоких температурах), определяет дополнительные требования к температурному режиму элегазового оборудования в эксплуатации. Для работы элегазового оборудования при отрицательной температуре (–40°С) необходимо, чтобы давление элегаза в аппаратах не превышало 0,4 МПа при плотности не более 0,03 г/см3. Если происходит повышение давления элегаз будет сжижаться при более высокой температуре, поэтому для повышения надежности работы электрооборудования при температурах примерно –40°С его следует подогревать (например, бак элегазового выключателя во избежание перехода элегаза в жидкое состояние нагревают до 12°С). Эта практика характерна как для отечественных, так и зарубежных производителей элегазовых выключателей [2].

В России направления, по которым сегодня развиваются высоковольтные элегазовые выключатели, не слишком отличается от мировых тенденций развития. Однако темпы прироста именно нового оборудования в нашей стране отстают, становится все более сложно оставаться на должном уровне конкуренции с зарубежными производителями. Это объясняется несколькими причи-

нами: недостаток финансовых средств, вынуждающий потребителей эксплуатировать давно устаревшие аппараты; сокращение строительства новых подстанций; отсутствие промышленного выпуска всей гаммы элегазовой аппаратуры, применяемой за рубежом; консерватизм потребителей элегазовых выключателей высокого напряжения [5].

Элегазовое аппаратостроение достигло высокого уровня. Элегазовые выключатели, в основном, удовлетворяют всем основным требованиям, предъявляемым потребителями. Однако постоянное стремление обеспечить еще более высокие технико-экономические требования, до минимума уменьшить воздействие элегазовых аппаратов на окружающую среду приводит к поиску новых решений.

Тот факт, что на мировом рынке до 2010 г. не видно серьезной альтернативы элегазовым и вакуумным выключателям, не означает прекращения работ по совершенствованию выключателей высокого напряжения.

Улучшаются дугогасительные устройства, применяются новые решения по повышению эффективности дугогашения. Продолжают проводиться работы по замене элегаза на смеси элегаза с другими газами, а также использованию других газов. На заводе «Уралэлектротяжмаш» стали выпускать элегазовые выключатели с полимерными изоляторами вместо керамических. Это позволило добиться снижения массы.

Используемые в элегазовых выключателях типы приводов (пружинные, гидропружинные, пружинно-моторные, электромагнитные) обладают своими достоинствами и недостатками. Однако, оригинальных решений, которые удовлетворяли бы всем запросам эксплуатации, не существует.

Открытым вопросом в развитии элегазовых выключателей остаётся разработка и продвижение на рынке различных систем диагностики. Установка на выключателе датчиков, которые в автоматическом режиме могут отслеживать состояние изоляции, механической системы, коммутационных контактов, контролировать другие параметры, позволяет сэкономить значительную часть времени и средств. С другой стороны, стоимость выключателей возрастает. Кроме того, срок службы системы диагностики меньше чем у выключателя. В дальнейшем это приводит к дополнительным затратам, что не приемлемо для потребителя.

Современные высоковольтные элегазовые выключатели очень надежны, безопасны, требуют минимального обслуживания и рассчитаны на длительную работу. Они относится к классу высоких технологий (Hi-Tech). Поэтому теперь начинается соревнование между производителями по уменьшению габаритов выключателей.

Эта задача может быть решена как за счет использования новых материалов и конструктивных решений, так и за счет совершенствования методик разработки.

Список литературы

1. Белкин Г.С., Вариводов В.Н. Состояние и перспективы развития коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Электричество. – М., 2001. – № 9. – С. 24–29.
2. http://www.forca.ru – сайт «Энергетика: оборудование, документация».
3. 3. www.energomash.ru – официальный сайт компании «Уралэлектротяжмаш».
4. http://www.news.elteh.ru – журнал «Новости электротехники».
5. http://leg.co.ua/stati – сайт «Электрические сети».

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРУБОК КОРИОЛИСОВА РАСХОДОМЕРА

Хачатурян Н.Ю.

Научный руководитель: Гурин Л.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sunny2087@mail.ru

Кориолисовый расходомер – прибор, использующий для измерения массового расхода жидкостей, газов эффект Кориолиса. Принцип действия массовых расходомеров основан на использовании сил Кориолиса, действующих на поток среды, которая движется по петле трубопровода, колеблющейся с постоянной частотой. Данные колебания создаются при помощи катушки-привода, которая работает на резонансной частоте. Кориолисовы силы вызывают поперечные колебания входной и выходной сторон петли и, как следствие, фазовые смещения их частотных характеристик, пропорциональные массовому расходу. Фазовые смещения регистрируются измерительными катушками, которые установлены на входном и выходном участках трубок.

Для подбора размеров и материала трубок и параметров катушки-привода, на этапе проектирования необходим расчет собственных (резонансных) частот основного элемента конструкции – измерительных трубок. Проводя проверку наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия и оптимизируя конструкцию так, чтобы можно было настроить катушку-привод на резонансную частоту.

Одним из самых эффективных методов расчета собственных частот является метод конечных элементов. Данный расчет проводиться в T-FLEX-

Анализе – интегрированной с T-FLEX CAD среде конечно-элементных расчётов. Суть его заключается в замене исходной пространственной конструкции сложной формы на дискретную математическую модель, должным образом отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия.

Порядок расчета собственных частот с помощью T-FLEX Анализ следующий: в среде T-FLEX CAD 3D создается 3D-модель конструкции, затем создается конечно-элементная сетка и проводится расчет собственных частот.

Шаги расчета при частотном анализе маховика:

1. Создание 3D – модели.
2. Создание конечно-элементной сетки.
3. Задание ограничений.
4. Расчет резонансных частот.

На рис. 1 приведена 3D-модель трубки, созданная с помощью стандартной операций среды T-FLEX CAD 3D – «трубопровод».



Рис. 1. 3D-модель трубки



Рис. 2. 3D-модель трубки с наложенной конечно-элементной сеткой

В T-Flex Анализ генерация конечно-элементной сетки осуществляется автоматически. Шаг сетки можно задавать. Чем меньше шаг сетки, тем точнее будут полученные результаты. На рис. 2 приведена 3D-модель трубки с наложенной конечно-элементной сеткой.

В качестве ограничения для трубки выбирается полное закрепление по ее концам, т. к. она приварена к металлическому диску.

Расчет считается правильным, если при различных шагах сетки значения собственных частот остаются близкими по значениям.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения резонансных частот

Шаг сетки	Резонансные частоты, Гц	
0.2	Значение 1	521.7
	Значение 2	952.0
	Значение 3	1404.9
	Значение 4	3185.3
0.25	Значение 1	522.9
	Значение 2	951.2
	Значение 3	1405.2
	Значение 4	3185.0
0.3	Значение 1	523.1
	Значение 2	951.7
	Значение 3	1405.5
	Значение4	3185.7

Как видно из табл., резонансные частоты при различном шаге сетки различаются незначительно.

После завершения расчетов T-FLEX Анализ позволяет осуществить всестороннее изучение полученных результатов.

На рис. 3–6 представлены результаты частотного анализа с шагом сетки 0.2.

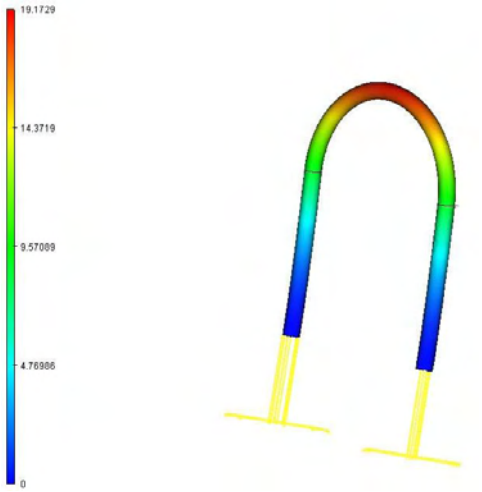


Рис. 3. Резонансная частота 521.7 Гц

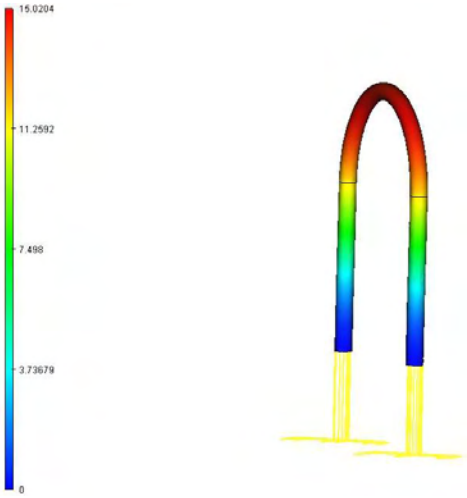


Рис. 4. Резонансная частота 952.0 Гц

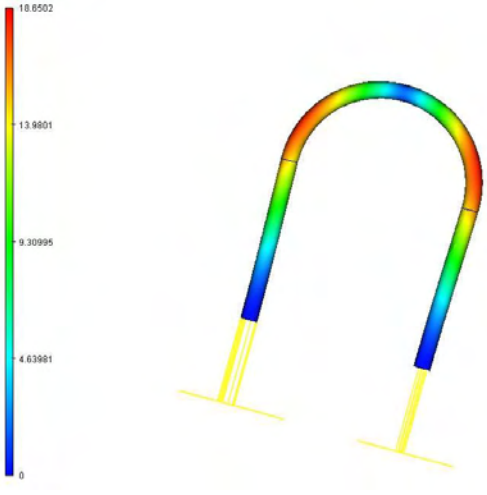


Рис. 5. Резонансная частота 1404.9 Гц

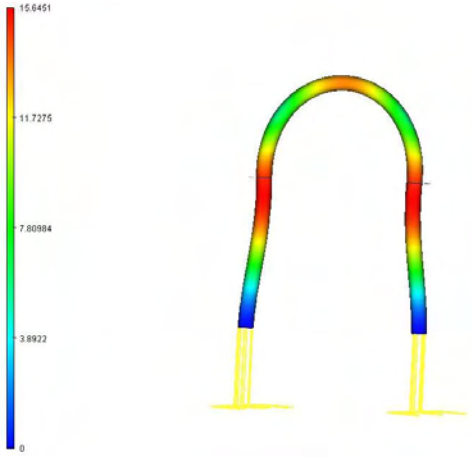


Рис. 6. Резонансная частота 3185.3 Гц

Опираясь на результаты расчетов, можно сделать выводы по ожидаемым резонансным частотам и формам колебаний на этих частотах.

Так, ожидаемые резонансные частоты конструкции (шаг сетки) будут равны 496.7 Гц, 902.2 Гц, 1329.6 Гц, 3019.7 Гц соответственно.

На рис. показан характер деформации конструкции на разных резонансных частотах, хорошо видно отклонение положения трубки на изгибе от их первоначального положения.

Использование на этапе проектирования систем конечно-элементного анализа позволит произвести выбор элементов конструкции, таких как катушка-привод, размеры трубок, измерительных катушек.

Список литературы

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – Л.: Машиностроение. – 1989. – 701 с.
2. www.emersonprocess.com/Micromotion/products/sensors-ELITE.html
3. http://www.micromotion.com

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИВОД ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГ КОМПЛЕКСА

Хворостенко Д.А., Качин О.С.

Научный руководитель: Качин С.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kos@tpu.ru

В связи с совершенствованием технологий производства технической продукции различного рода во многих отраслях растет потребность в высокоточных измерительных системах. В частности, существует необходимость автоматизации процесса бесконтактных измерений микроперемещений поверхностей элементов машин и механизмов.

Разработанный в Томском политехническом университете (ТПУ) измерительный комплекс [1, 2] призван удовлетворить потребность в высокоточных бесконтактных измерениях. Данный комплекс предназначен для бесконтактного прецизионного контроля формы поперечных сечений вращающихся элементов машин и механизмов в статических и динамических режимах, измерения линейных микроперемещений и вибраций элементов машин и механизмов, а также для контроля электрических, магнитных, температурных, прочностных, деформационных и профилометрических параметров различных электропроводящих материалов, включая наноматериалы, композиционные и керамические материалы.

Работа комплекса основана на методе вихретокового зондирования контролируемых электропроводящих поверхностей. Заявленные высокие точностные показатели комплекса удалось получить благодаря применению методики базовой коррекции результатов измерений [3], позволяющей устранить ряд погрешностей измерений. Основными причинами возникновения погрешностей на выходе аналоговой части прибора является температурная погрешность, погрешности вследствие различий удельного сопротивления и линейной скорости перемещения контролируемой поверхности относительно первичного измерительного преобразователя (датчика), а также погрешность, связанная с неидентичностью установки датчика в процессе тарирования и в процессе измерения на реальном объекте. Сущность метода базовой коррекции результатов измерений заключается в выполнении тестового перемещения первичного измерительного преобразователя относительно контролируемой поверхности в процессе измерений и последующей корректировке результатов измерений на основе обработки полученной информации по специальному алгоритму. Использование данного метода позволяет существенно снизить систематические погрешности измерений, что обеспечивает неоспоримые преимущества разработанного комплекса по точности измерений перед аналогичными отечественными и зарубежными измерительными системами.

Выполнение измерений профилей в динамических режимах представляет собой намного более сложную задачу, так как измеренные величи-

ны зазора между датчиком и одним и тем же местом контролируемой поверхности могут достигать десятков мкм вследствие вибрационных явлений различного рода или биений в подшипниковых узлах от оборота к обороту из-за неточности изготовления или изнашивания подшипников скольжения или качения. В подобных условиях точная коррекция результатов измерений по методу базовой коррекции [3] становится невозможной. Данная задача решается путем использования нового метода измерений, разработанного в ТПУ [4]. Существо разработанного метода заключается в том, что параметры коррекции результатов измерений определяются на основе средних значений результатов в циклах последовательных измерений, а величина тестового перемещения определяется с учетом погрешности выполнения данного перемещения и заданных погрешностей измерений.

Точность результатов применяемых способов измерений [3, 4] в существенной степени зависит от величины и точности выполнения образцового перемещения первичного измерительного преобразователя в процессе выполнения измерений. Например, при контроле профиля коллектора на базовом расстоянии в 100 мкм и тестовом перемещении первичного измерительного преобразователя на 500 мкм с погрешностью в 1 мкм, систематическая погрешность измерений составляет 0,2% от величины диапазона изменения профиля.

В связи с этим актуальным является создание миниатюрных прецизионных приводов с точностью позиционирования не хуже 1 мкм.

В настоящее время системы микроперемещений представлены достаточно широкой номенклатурой изделий. Анализ текущей мировой ситуации в указанной области показал, что большинство микроприводов можно разделить на следующие группы по типу используемых преобразователей: 1) мини- и микроэлектродвигатели постоянного тока с волновыми или планетарными редукторами; 2) шаговые двигатели (возможно исполнение с редуктором) вращательного и линейного типов; 3) электромагнитные приводы; 4) магнитострикционные приводы; 5) пьезоэлектрические и электро-стрикционные приводы; 6) электростатические приводы; 7) электроосмотические приводы;

Исходя из экономических соображений (соотношение точности позиционирования и стоимости), а также учитывая простоту изготовления и доступность комплектующих, первоначально выделили приводы из 1, 2 и 3 групп. Следующим пунктом для выбора является реализация системы управления движителем. Шаговый двигатель требует наличия специального драйвера. Микродвигатели постоянного тока также требуют достаточно сложной замкнутой системы широтно-импульсного управления с использованием высокоточных датчиков положения (энкодеров). Реализация системы управления электромагнитным приводом является наиболее привлекательным вариантом, т. к. фактически нужно лишь включать и выключать питание катушки электромагнита при помощи какого-либо силового элемента (например, тиристор или симистор для варианта на переменном токе или транзисторный ключ для коммутации постоянного тока). Более того, в применяемых способах измерений [3, 4], необходимы лишь два дискретных положения первичного измерительного преобразователя: для выполнения первого измерения (серии измерений), затем высокоточное перемещение датчика на фиксированную величину и выполнение второго измерения (второй серии измерений), Исходя из вышеперечисленных факторов, было принято решение разрабатывать электромагнитный привод.

Краткое техническое задание (ТЗ) состояло в разработке электромагнитного привода со следующими показателями:

• перемещение под действием магнитных сил на величину 400–600 мкм;

• требуемое усилия, которое нужно развить электромагниту для перемещения первичного измерительного преобразователя – 0,2 кг;

• форма, габаритные и присоединительные размеры корпуса электромагнитного привода должны обеспечивать максимально унифицированную установку в ограниченное пространство на различных производственных механизмах.

Основная задача при конструировании приводов – создание необходимой механической работы при минимальных габаритных размерах. Для достижения параметров, указанных в ТЗ, была разработана конструкция электромагнитного привода с втяжным якорем. В программной среде моделирования методом конечных элементов ELCUT были проанализированы многочисленные варианты конструкций и размеров катушки и магнитопровода электромагнита, один из которых приведен на рис. 1. Было выявлено, что наибольший эффект увеличения магнитной индукции в магнитном зазоре достигается при увеличении диаметра катушки электромагнита, однако здесь следует искать компромисс, так как при чрезмерном увеличении диаметра резко сужаются возможности для установки электромагнитного привода датчика на диагностируемое оборудование.

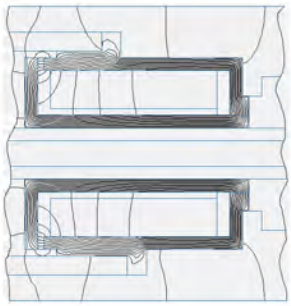


Рис. 1. Модель электромагнитного привода в программной среде ELCUT

В результате моделирования, было принято решение остановиться на габаритах, обеспечивающих среднюю магнитную индукцию в зазоре 0,4 Тл.

Далее, при помощи общепринятых методов расчета электромагнитов, были выбраны оптимальные намоточные данные электромагнита и выполнена проверка на нагрев.

После того как были определены геометрических размеры катушки в программной среде «Компас-3D V10» был построен чертеж электромагнитного привода первичного преобразователя программно-аппаратного измерительного комплекса. Изготовление опытного экземпляра электромагнитного привода запланировано на ближайшее время.

Разработанный измерительный комплекс, оснащенный электромагнитным приводом первичного измерительного преобразователя найдет применение в различных отраслях промышленности, например в машиностроении для контроля профилей элементов машин и механизмов в автоматизированном режиме.

Список литературы

1. Качин С.И., Боровиков Ю.С., Нечаев М.А. Программно-аппаратный комплекс для оценки механического состояния скользящих контактов коллекторных машин электроприводов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 140–144.
2. Качин О.С., Саблуков В.Ю. Разработка высокоточного многофункционального измерительного комплекса для бесконтактного контроля механического состояния элементов машин // XIII международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные Техника и Технологии СТТ 2007». – Томск: 26–30 марта 2007 г. – С. 428–430.
3. Патент РФ № 2234054. Способ измерения зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью (варианты) / С.И. Качин, Ю.С. Боровиков, М.А. Нечаев, О.С. Качин. Опубл. 10.08.2004, Бюл. №22. – 13 с.: ил.
4. Патент РФ № 2327104. Способ измерения зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью в динамических режимах / О.С. Качин, С.И. Качин. Опубл. 20.06.2008, Бюл. № 17. – 12 с.: ил.

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Хохлова М.Ю.

Научный руководитель Богданов Е.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Masha-16@mail.ru

Организация бесперебойного питания объекта подразумевает возможность его переключения при неполадках в электросети на альтернативный источник энергии. В источниках бесперебойного питания (ИБП) любого типа функции такого источника выполняют аккумуляторные батареи (АБ). Их конструкция и технические параметры во многом определяют требования к помещению, в котором располагаются ИБП и сами батареи, время автономного питания нагрузки, а также расходы на эксплуатацию системы бесперебойного питания. Это единственный расходный компонент в архитектуре ИБП, требующий замены по окончании срока службы. Аккумуляторы относятся к категории химических источников энергии многоразового действия. Накопление энергии в них происходит при протекании химической реакции окисления-восстановления электродов. При разряде имеют место обратные процессы [1]. Среди многообразия химических источников в системе гарантированного электропитания (СГЭП) переменного тока общепромышленного назначения в настоящее время наибольшее распространение получили щелочные никель-кадмиевые и свинцово-кислотные с рекомбинацией газа АБ. При общей проблематике вопросов применения, в автономных системах электропитания применяются также никель-водородные и серебряно-цинковые аккумуляторы. В кислотных АБ для электрохимической реакции используется свинец, его оксид и серная кислота. В щелочных – никель, кадмий, серебро, цинк, железо, их оксиды (или гидроокиси) и гидроокись калия.

Аккумуляторные батареи выбирают с учетом прогнозируемого режима работы, характера изменения нагрузки, диапазона изменения силы тока и напряжения, температуры окружающей среды. Все эти факторы определяют необходимую емкость аккумуляторной батареи, выражаемую в ампер-часах (А•ч). Для упрощения выбора в спецификациях на батареи производители приводят данные, отражающие их способность отдавать постоянную мощность или постоянный ток в зависимости от емкости, времени разряда и допустимого остаточного напряжения на каждой банке.

При проектировании СГЭП разработчик должен руководствоваться в первую очередь следующими основными требованиями АБ: энергетические показатели (коэффициент отдачи по емкости, удельная энергия, особенности зарядно-разрядных характеристик); экологическая чистота и пожаровзрывобезопасность; срок службы; саморазряд; стоимость; простота эксплуатации.

Таблица 1

Относительная стоимость 1Вт·ч энергии, получаемой от аккумуляторов

Тип аккумулятора	Относительная стоимость
Свинцово-кислотный	1
Кадмиево-никелевый, ламельный	3
Кадмиево-никелевый, безламельный	13
Железо-никелевый	2
Серебряно-цинковый	15

Свинцово-кислотные АБ являются наиболее распространёнными среди большой емкости и мощности. Обладая сравнительно высокой удельной энергией в сочетании с надежностью и относительно низкой стоимостью, они находят широкое практическое применение.

В настоящее время свинцовые АБ можно условно разделить на две группы:

1) «классического» исполнения (со свободным электролитом);

2) с рекомбинацией газа (безуходные).

Главными достоинствами «классических» свинцовых АБ является возможность отдачи большой мгновенной мощности ввиду низкого выходного сопротивления и «жёсткости» разрядной характеристики, дешевизна и возможность работы при низких температурах. Все остальные характеристики делают проблематичными их использование в СГЭП, особенно при размещении в непосредственной близости к пользователю. Зависимость между емкостью, током и временем разряда свинцовой АБ выражается формулой Пейкерта, представляющей гиперболическую связь входящих в нее составляющих:

$$I^n t = C;$$

где I – разрядный ток; *t* – время разряда; C, n – постоянные.

Постоянная *n* характеризует конструкцию и технологию изготовления аккумулятора и не зависит от величины его емкости. Постоянная *C* зависит от размера аккумулятора. В зависимости от типа свинцовых АБ n=1,2–1,7. Заряд подобных АБ проходит с выделением водорода и сернистого ангидрида, переходящего на воздухе в кислородный, являющийся весьма опасным как для обслуживающего персонала, так и для аппаратуры. Кроме того, наличие трех критериев окончания заряда – резкий рост напряжения в конце, бурное газовыделение и изменение концентрации электролита – не позволяет корректно проектировать автоматическое зарядное устройство АБ.

Саморазряд свинцовых аккумуляторов увеличивается в процессе эксплуатации и снижается с понижением температуры. Как правило, свинцовая АБ выходит из строя после 100–200 полных зарядно-разрядных циклов [2].

Температура окружающей среды ощутимо влияет на ход разрядной кривой. Снижение температуры приводит к снижению, как ёмкости, так и разрядного напряжения. Следует добавить, что свинцовые АБ «боятся» глубоких разрядов, после которых батарею восстановить довольно сложно.

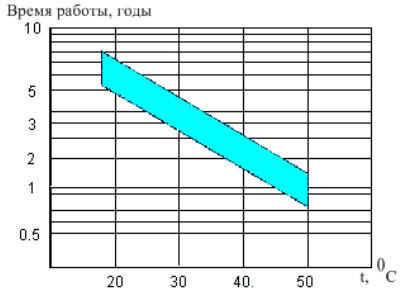


Рис. 1. Ресурс аккумулятора

Глубина цикла разряда определяется как отношение реально отданных в нагрузку ампер-часов к ампер-часам, соответствующим разряду до порога необратимого старения. Глубина цикла (если она повторяется от цикла к циклу) определяет срок службы батарей [3].

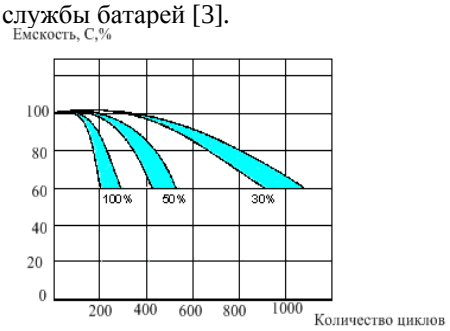


Рис. 2. Рис. 1. Ресурс аккумуляторов при циклическом режиме работы

Вторая группа свинцовых АБ появилась как логическое развитие первой, используя ряд технологических новшеств. Это позволило, сохранив основное преимущество – дешевизну – придать батареям свойства, приблизившие их по характеристикам к щелочным АБ.

В подобных АБ активное вещество пластин и сплавы, используемые в производстве пластин, связывающее активное вещество, вступая в химическую реакцию, приводят так же, как в «классическом» аккумуляторе, к выделению кислорода на положительных пластинах. Внутреннее строение элемента таково, что позволяет этому кислороду в результате проникновения через сепаратор достигать отрицательных пластин. В результате химической реакции с пористым свинцом отрицательной пластины образуется оксид свинца. Серная кислота, находящаяся в составе электролита в виде гелеобразной массы, реагирует с этим оксидом свинца и образует сульфат и воду. Образованный таким способом сульфат свинца при электрохимическом воздействии распадается, и снова образуются свинец и серная кислота. Это равновесие вследствие цикла кислородной рекомбинации будет поддерживаться до тех пор, пока батарея находится в заряженном состоянии. АБ такого класса герметичны (имея предохранительный клапан) и экологически чисты.

Время автономной работы СГЭП, или время работы в резервном режиме зависит от ёмкости используемых аккумуляторных батарей и коэффициента полезного действия силового канала СГЭП и жестко регламентируется в каждом конкретном случае. Кислотные оловянно-свинцовые аккумуляторы в герметичном исполнении не требуют обслуживания, однако имеют низкую мощность на единицу объёма и большой вес. Этот недостаток преодолён в никель-цинковых аккумуляторах. Но широкого применения они не получили из-за довольно высокой цены. Иногда используют щёлочные АБ, которые стоят не дорого, но требуют обслуживания при эксплуатации [4].

Таким образом, изучив преимущества и недостатки представленных химических источников питания, выбор был сделан в пользу свинцово-кислотных герметичных аккумуляторов серией FG с внутренней рекомбинацией газа, которые имеют широкий спектр применения и отличные эксплуатационные характеристики. Данный аккумулятор имеет: положительные и отрицательные пластины, которые состоят из свинцовой решетки, на которой нанесена активная масса (паста); сепараторы, с помощью которых положительные пластины изолируются от отрицательных пластин. Сепаратор выполнен из стекловолокна, который пропитан электролитом, благодаря этому моноблоки могут размещаться в любом положении. Корпус и крышка производятся из огнеупорного пластика, и они термически приварены друг к другу. Толстые стены корпуса сконструированы так, чтобы выдерживать без деформаций возможные нагрузки в процессе эксплуатации [5].

Список литературы

1. www.n-power.ru
2. Гарганеев А.Г., Шурыгин Ю.А. Системы электропитания ответственных потребителей переменного тока на основе полупроводниковых преобразователей. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 228 с.
3. www.cxem.net/pitanie.ru.
4. Мишуров В.С. Основы преобразовательной техники. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования. 2002. – 127 с.
5. www.fiamm.ru

НАГРУЗОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Шапарин А.А.

Научный руководитель: Ланграф С.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: anshaparin@sibmail.com

Системы подъемно-транспортных механизмов (ПТМ) широко применяются в технологических процессах при перевозке людей и транспортировке грузов. При серийном производстве систем ПТМ возникает задача проведения сложных нагрузочных испытаний. В случае некачественной работы системы не будут выполняться требования, предъявляемые к плавности перемещений, и может быть нанесен серьезный вред здоровью людей. Таким образом, разработка нагрузочного электропривода для испытаний электропривода ПТМ является важной и актуальной. Испытательное нагрузочное устройство должно полностью имитировать диаграмму эксплуатационных усилий, прикладываемых со стороны элементов ПТМ.

Нагрузочное усилие можно получить применением генераторов и двигателей постоянного тока с различными типами силовых преобразователей и систем управления. Также в качестве нагрузочного устройства может быть использован электропривод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователя частоты с векторным управлением [2]. Общий недостаток вышеперечисленных систем – энергия скольжения ротора не может быть возвращена в сеть, либо использована для совершения полезной работы. Однако у асинхронного двигателя с фазным ротором этот недостаток может быть устранен путем включения в цепь ротора источника регулируемой ЭДС, в качестве такого источника может быть использован преобразователь частоты (ПЧ). Схемы асинхронного электропривода с включением в цепь ротора дополнительных ступеней преобразования энергии для использования и регулирования энергии скольжения поучили название *каскадных схем* (каскадов). Если энергия скольжения преобразуется для возвращения в электрическую сеть, каскад называют *электрическим*. Электрические каскады, в которых цепь ротора подключается к преобразователю частоты, способному как потреблять энергию скольжения, так и доставлять энергию двигателю со стороны ротора на частоте скольжения, т. е. управлять потоком энергии в цепи ротора как в прямом, так и в обратном направлении, называются каскадами с асинхронным двигателем, работающим в режиме машины двойного питания (МДП). Данная система позволяет при переменной скорости вращения ротора обеспечивать постоянное значение частоты 50 Гц на статоре и требуемую величину момента на роторе АД [1].

Функциональная схема такого каскада представлена на рис. 1.

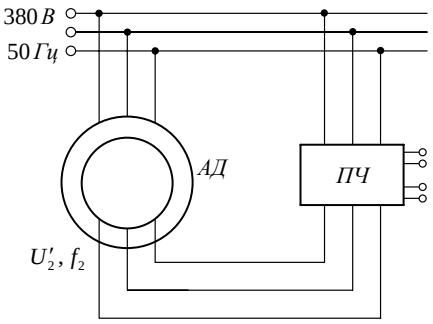


Рис. 1. Функциональная схема электрического каскада

С учетом свойств преобразователя частоты используем генераторный и двигательный режимы работы МДП только при потреблении мощности ПЧ из сети.

При работе в двигательном режиме с $\omega_2 > 0$ (при подсинхронной скорости) потребляемая двигателем мощность P_1, если пренебречь потерями, поступает на вал двигателя P_2. При сверхсинхронной скорости ($s_0 < 0$) при работе в двигательном режиме (рис. 2,а), механическая мощность P_2 обеспечивается потреблением мощности как по цепи статора P_1, так и по цепи ротора (мощность скольжения P_S):

$$P_2 = P_1 + P_S .$$

Если при $\omega_2 > 0$ машина работает в генераторном режиме ($M = -M_C$), (рис. 2,б), то уравнение потоков мощностей можно записать следующим образом: $-P_1 = -P_2 - P_S$ [1].

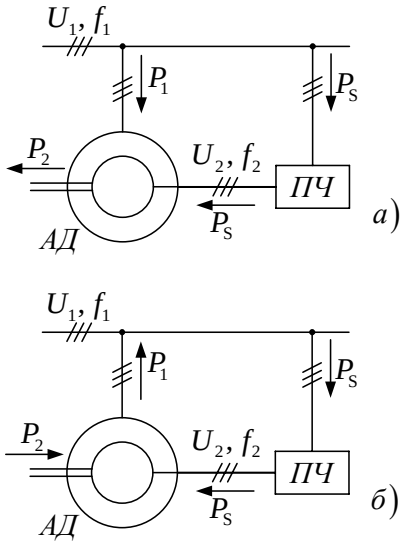


Рис. 2. Направление потоков мощности в каскадной схеме при $\omega > \omega_0$ (а) и при $\omega < \omega_0$ (б):
а – двигательный режим работы каскада;
б – генераторный режим работы каскада

Кинематическая схема нагрузочного электропривода на базе асинхронного электродвигателя с фазным ротором представлена на рис. 3.

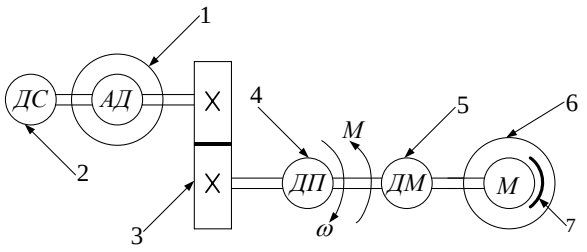


Рис. 3. Кинематическая схема элементов передач нагрузочного моментного электропривода

Обозначения, принятые на схеме:

1 – асинхронный двигатель (АД) нагрузочного моментного электропривода (ЭП), 2 – датчик скорости, установленный на валу АД нагрузочного моментного ЭП, 3 – понижающий редуктор с передаточным числом i = 18, 4 – датчик положения, установленный на выходном валу редуктора, 5 – датчик момента, развиваемого испытуемым ЭП,

6 – двигатель испытуемого ЭП, 7 – тормозное устройство для удержания двигателя.

Моментное усилие, развиваемое на валу АД 1, передаётся к редуктору 3 и далее поступает к валу испытуемого двигателя. Необходимость введения редуктора 3 обусловлена стремлением согласовать между собой моменты и частоты вращения выходного вала двигателя 6 и нагрузочного двигателя АД 1. Контроль за величиной момента на выходном валу двигателя 6 выполняется с помощью тензометрического датчика момента 5. С помощью измерительного плеча датчик 5 регистрирует крутящий момент, развиваемый на выходном валу двигателя 6. Одновременно с измерением момента, происходит считывание информации о текущем угловом перемещении выходного вала двигателя 6. Для данных целей используется импульсный датчик – энкодер 1. Для измерения скорости вращения вала АД 1 используется энкодер 2.

В ходе проделанной работы было сделано следующее:

1. Осуществлен обзор нагрузочных устройств для испытательных приводов с учетом рассмотренных преимуществ и недостатков.

2. Рассмотрены основные режимы работы нагрузочного стенда, предложена его кинематическая схема.

3. На основании проделанной работы планируется дальнейшая реализация нагрузочного стенда для проведения испытаний в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
2. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Шевчук В.П., Гусев В.В.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: SheVP@rambler.ru

Добыча алмазоносного сырья в АК «АЛРОСА» в настоящее время связана с большим энергопотреблением. Особенно это стало значительно в связи с отработкой запасов трубок «Айхал», «Мир», «Интернациональная» подземным способом и отработкой запасов глубоких горизонтов трубки «Удачная». В себестоимости алмазов доля затрат на электроэнергию и содержание оборудования составляет от 12,0 до 16,0%. Одним из перспективных направлений снижения энергозатрат, затрат, связанных с переходом на подземные разработки, а также повышения эффективности работы алмазодобывающих предприятий является создание условий для безотказного функционирования основного технологического оборудования, производящего разрушение, транспортирование и переработку горной породы. Вместе с тем, поддержание высоких темпов развития горных работ ставит задачу дальнейшего повышения надежности, качества эксплуатации и эффективности использования технических средств. Особое влияние на решение этой задачи оказывает эксплуатационная надежность электрических машин (ЭМ), являющихся основным элементом электропривода механизмов.

Целью работы является определение фактических данных по эксплуатационной надежности электрических машин на стадии эксплуатации в алмазодобывающем комплексе.

Для исследования надежности ЭМ общепромышленного назначения был использован статистический материал по оборудованию, поступившему в ремонт структурного подразделения «Алмазэнергоремонт» АК «АЛРОСА» ЗАО в период с 2000 г. по 2007 г., а также материалы эксплуатационных наблюдений, зафиксированных в агрегатных журналах, и сведения по результатам диагностического контроля и мониторинга. В эксплуатационные данные были включены отказы и повреждения ЭМ по рудникам, фабрикам, драгам, котельным установкам, насосным станциям и другим объектам алмазодобывающего комплекса. Полученный статистический материал был классифицирован по мощностям: среди ЭМ до 10 кВт количество отказов составило 2099, от 10 кВт до 100 кВт – 715, от 100 кВт до 1000 кВт – 131 и свыше 1000 кВт – 57 отказов. Предварительный анализ эксплуатационной информации показал, что для ЭМ наиболее распространенными причинами отказов и повреждений являются разрушение изоляции обмотки статора и ротора, увлажнение обмоток, износ подшипников, нарушение центровки, технологические перегрузки. Наблюдается значительный разброс и неравномерность наработки на отказ как ЭМ в целом, так и их отдельных узлов. Систематизация статистических данных позволила получить динамику по отказам в зависимости от частоты вращения (рис. 1).

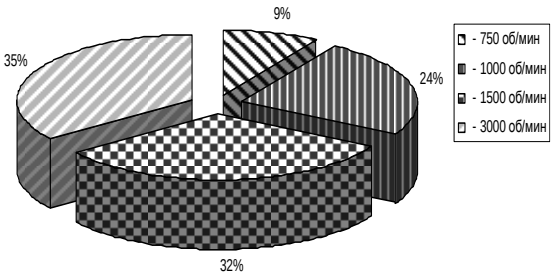


Рис. 1. Структура отказов в зависимости от частоты вращения

Диаграмма наглядно демонстрирует, что в основном преобладают отказы ЭМ с частотой вращения от 1000 об/мин и выше. Определяющими факторами обуславливающие данные отказы часто связаны с возрастающим уровнем вибрации и недостаточной уравновешенностью вращающихся частей машины или ее небаланс, а также это с технологической культурой эксплуатации.

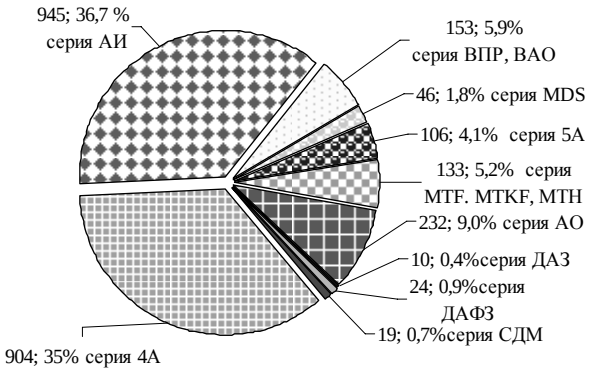


Рис. 2. Общая количественная оценка отказов по сериям электрических машин

Рассматривая эксплуатационную надежность с позиции общего анализа, следует также отметить сложившиеся закономерности отказов ЭМ в зависимости от серии изготовления. Серия ЭМ представляет собой ряд подобных машин с возрастающей по заданной шкале мощностью, имеющих однотипную конструкцию и удовлетворяющих единому комплексу требований: технические данные, способы защиты и охлаждения, условия эксплуата-

ции. Ретроспективный анализ эксплуатационной информации позволил классифицировать отказы по сериям (рис. 2) и, кроме того, была определена удельная доля отказов каждой серии рассматриваемого оборудования относительно общего количества по данной серии (рис. 3).

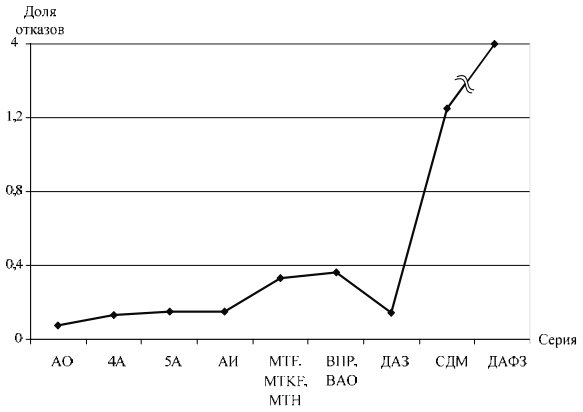


Рис. 3. Удельная доля отказов по сериям электрических машин

Обработка эксплуатационной информации показала, что в большинстве случаев конструкции ЭМ далеки от соблюдения равнопрочности. Так ЭМ общепромышленного назначения серии АО и 4А в общем потоке отказов показали низкую удельную долю отказа. Особо необходимо отметить оборудование мельниц обогатительных фабрик. Исследования позволили установить, что с точки зрения эксплуатационной надежности их уровень надежности для данного оборудования является низким, а с технической стороны ЭМ серии ДАФЗ в составе электропривода мельниц не отвечают всем требованиям по условиям запуска и работы при любых технологических режимах (основные отказы связаны с обмоткой ротора). Для серии СДМ практически все отказы были обусловлены повреждением корпусной термореактивной изоляции статора. В большинстве случаев это явилось следствием некорректной эксплуатации оборудования. Безусловно, на стадии исследований, конструкторских расчетов и проектирования в отношении этих машин принимался в значительной степени высокий уровень начальной надежности. Однако, как показали эксплуатационные наблюдения и результаты расчетов, эта надежность не была на должном уровне сохранена и обеспечена, что соответственно отразилось на фактической величине эксплуатационной надежности.

В заключение отметим, что по итогам исследований получены фактические количественные характеристики свойств определяющих эксплуатационную надежность ЭМ общепромышленного назначения и с учетом условий эксплуатаций ЭМ определены границы характеристики надежности. Представленные данные по эксплуатационной надежности, в дальнейшем могут быть использованы при проектировании и изготовлении ЭМ.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
Абрамочкина Л.В. 7

ПРИМЕНЕНИЕ ВПТ ДЛЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИХ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯХ
Арестова А.Ю. 9

ШАГИ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ
Ачитаев А. А., Бузин С. С. 11

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ
Балабанов А. М., Темербаев С. А. 13

ПОСТАНОВКА ДЕЛОВЫХ ИГР ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ-ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОВ
Барский М.С., Мастерова О.А. 15

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТОВ
Белоглазов А.В. 17

ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
Бойко М.Ю., М.Ю. Шишулькина 19

АНАЛИЗ БЕЗОТКАЗНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Буев П.В. 21

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОРЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА
Валь П.В., Торопов А.С. 23

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
Васильева О.В., Исаев Ю.Н., Кулешова Е.О. 25

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ
Васильева О.В., Исаев Ю.Н., Сивков А.А. 27

ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА
Горлач С.Ю. 28

УПРАВЛЕНИЕ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ СИСТЕМЫ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ ФОРСИРОВКИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
Горшков К.Е. 30

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАО "ЧИР"
Гончаров Е. Ю. 32

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ
Гречко О.А. 34

СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЙОНОВ СИБИРИ
Гушляк А.Г. 36

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ
Даянова Р.Ф. 38

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ
Довженко С.В. 40

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОСТИ
Долиновская Р.В., Сапрыкин Ф.Е. 42

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИРОВАННОГО МЕТОДА
Дурнов В.Г., Раевский Н.В. 43

ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА УСКОРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КМПУ ЗА СЧЕТ ЕГО ЭКРАНИРОВАНИЯ
Герасимов Д.Ю., Евдокимов А.А. 45

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ
Егорычев А.В., Бутина Ю.А. 47

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ УЧЕТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
Зацепина В.И., Шилов И.Г. 49

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАК СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ ОТ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ
Зацепина В.И., Мамонтов А.Н. 51

ВЫРАВНИВАНИЕ МОЩНОСТИ ПО ФАЗАМ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ
Зацепин Е.П., Шурыгин Ю.А. 53

МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНО-МОДУЛЯЦИОННОГО ТИПА В СРЕДЕ SwCAD III
Иванов А.Ю., Федотов А.В. 55

СУХОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВВОД НА ОСНОВЕ RIP-ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ
Иванюк Е.В., Куртенков Г.Е. 57

АНАЛИЗ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
Калинина В.А., Космынина Н.М. 59

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ БЛОКОВ ДЛЯ ФУНКЦИЙ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА
Карпов А.С. 60

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТИ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ НУЛЕВЫХ ПЕРЕХОДОВ В УСТРОЙСТВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Кац И.М. 62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОДА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ
Кобылинец Е.В., Жгун Д.В. 64

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗОЛЯЦИЮ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТОКОМ НАГРУЗКИ
Коржов А.В., Томашева Е.В. 66

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ 6(10) кВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ
Коржов А.В. 68

ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ СТАНЦИЕЙ
Кравчук П.В. 70

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННЫХ КОММУТАЦИЙ НЕНАГРУЖЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ
Лебедев И.А., ...72

АНАЛИЗ РЕЖИМНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ
Леонов С.В. 74

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ В СКВАЖИНЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ
ЛИ Дуншуан....76

МНОГОФАЗНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА МОДУЛЯХ
Белицкая Л.А., Лоскутникова К.А., Писниченко А.О. 77

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМОГО СОСТОЯНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ
Маликова Л.Р., Шмойлов А.В. 79

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
Минина А.А. 81

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА СУДНА-ЭЛЕКТРОХОДА
Миханошин В.В. 83

СИСТЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
Никитин М.В., Сарсикеев Е.Ж. 85

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЕМКОСТНОЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ (360 кДж) НА МОЛЕКУЛЯРНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ
Орозалиев Э.У. 87

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
Орозалиев Э.У. 89

ВЛИЯНИЕ ОШИБОЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
Осинцев А.А. 91

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Панюкова С.А. 93

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИТ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ БЛОКОВ
Первиков А.В., Жгун Д.В., Кобылинец Е.В. 95

МОНИТОРИНГ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ
Прохоров А.В. 97

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ
Прутик А.Ф. 99

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В КОНЦЕПЦИИ ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Прутик А.Ф. 101

ПОНИЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТЫВАЭНЕРГО
Пузырев Е.В. 103

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА ЧАСТОТУ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
Рагимов Э.В. 105

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОАО "ММК" И НАЛОЖЕНИЕ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ
Ротанова Ю.Н., Абрамовских П.В., Туз И.В. 107

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВА АВР С КОНТРОЛЕМ СИНХРОНИЗМА С УПРАВЛЕНИЕМ ПО ПРОГРАММНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
Рыжкина И.С., Абеуов Р.Б. 108

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
Сарсикеев Е.Ж., Никитин М.В. 110

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ
Сергеев П.С. 112

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОПЛОТНОСТИ СТРУКТУР АНОД-ЭЛЕКТРОЛИТ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Смирнов С.И. 114

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ
П.Ю. Гарбузов, Л.Д. Коберник, В.А. Суслин 116

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ
Танфильева Д.В. 118

ВЫЯВЛЕНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ
Танфильев О.В., Глазырин В.Е. 120

ОПТОВЫЙ РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РФ. ПРОБЛЕМЫ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ
Таран А.С. 122

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
Тимофеев М.Н. 123

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
Ткаченко С.Н., Семенихин М.В. 125

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА МЕЖФАЗНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДОМ И НАНОВОЛОКНАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ
Ткаченко С.Н., Семенихин М.В., Родкевич Н.Г. 126

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛОСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ В СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ
Топоев В.Н. 128

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА
Усов И.М. 130

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СИСТЕМ РЕЗОНАНСНОЙ НАСТРОЙКИ СЕТИ
Филимонов С.А. 132

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
Фомина И.А., ...134

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО СТАТИЧЕСКОЙ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
Фролов Е.Н. 136

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ВБЛИЗИ НУЛЯ ТОКА ВАКУУМНОЙ ДУГИ
Хоанг Туан Ань 138

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
Чан М., Шмойлов А.В. 140

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ РАЗРЯДА
Герасимов Д.Ю., Шеметов Д.Д. 142

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ЛАБОРАТОРИИ "ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ"
Юдина К.В. 144

ОСНАЩЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ АЭРОДРОМОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАТЕГОРИИ И КЛАССА АЭРОДРОМА
Юмахин Д.Ю. 146

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ЧЕЛОВЕКА И ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВА АВАРИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ПОВРЕЖДЕНИИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ
Юрченко Е.Ю., Лежнев А.Ю., Шалимов И.В. 147

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И СИСТЕМ МОЛНИЕЗАЩИТЫ
Якунин С.С., Мурзин Е.С. 149

Секция 2. **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

ОТСТРОЙКА ОТ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ
Алимов Д.В. 155

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОММУТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Ануфрик М.С., Пенкин Д.Г. 157

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДУГОВОГО ПЛАЗМОГЕНЕРАТОРА С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ
Анциферов Е.А. Воробьев М.С. Шугуров В.В. 159

УПРАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЭНЕРГОБАЛАНСА
Астахова Н.В. 161

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ МИКРОПЛАЗМЕННОМ ОКСИДИРОВАНИИ
Баранов П.Ф. 163

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И КАЛИБРОВКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ БОЛОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ
Баринова П.В., Шипова Э.А. 165

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРЯДА – ИОНИЗАЦИИ ВОДОРОДА НА ТРУБНОЙ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ТОКА В ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТАХ
Бархатов А.Ф. 167

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ДОЗИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ
Бородин К.В. 169

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ
Белоусов В.О. 171

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ ГИРОДИНА
Бритова Ю.А., Лянзбург В.П., Андросов В.Я. 173

ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ. СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Бурцева Л.Б., Редько В.В. 175

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА С ПК В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ
Вахрушев Д.В., Якимов Е.В. 177

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОДНОФАЗНОМ МАГНИТОПРОВОДЕ
Волков А.В., Игольников Ю.С. 179

ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ СОЧЕТАНИЯ ПРОТОЧНОГО ПРИЕМНИКА ДАВЛЕНИЯ И СТРУЙНО-КОНВЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
Галяутдинова А.Н., Порунов Н.А. 181

ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ СРЕДСТВАМИ АЭСА
Глазырин А.В., Шахов А.В. 183

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА
Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Ткаченко Н.Ю. 184

ВИХРЕТОКОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД
Гудков С.А. 187

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ЧЕЛОВЕКА
Гюнтер С.В., Вотяков В.Ф., Дамбаев Г.Ц. 189

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ
Дао Суан Тхао....191

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭХО-ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ НА ВЫХОДЕ КОМПАРАТОРА
Дичев Н.В. 192

МЕТОД ШУМОВ БАРКГАУЗЕНА И ЕГО СВЯЗЬ С ДВУХЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
Долгих В.Ю. 194

ЛАБОРАТОРИЯ НА ОДНОМ ДИСКЕ "ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ"
Донцов А.А., Прокопов Д.А., Петрицкий Р.В....196

ВСТРАИВАЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ
Езат Х.С. 198

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ ЖГУТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Зеленцова О.А., Смирнов Д.А....200

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ФИРМЫ NATIONAL INSTRUMENTS
Злыгостева Г.В....202

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДА СМЕНЫ КАДРОВ ВИДЕКАМЕРЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИИ ОБЪЕКТА, ОСНОВАННОГО НА СТРОБОСКОПИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ
Зрюмов Е.А., Зрюмов П.А....204

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ УГЛЯ
Зыкова О.С. 206

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС "М-1" ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ
Иванов Д.С., Куц И.А. 208

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ
Игнатовский В.В., Волгин А. В., Юрченко А.В. 210

БЛОК СОПРЯЖЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ СО СКВАЖИННЫМ ПРИБОРОМ ИГН-100-100/60-А
Калашникова Е.А. 212

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ
Калушевич А.А. Шугуров В.В....214

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ
Капитонов С. С.. Беспалов Н. Н. 216

ПРИЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ КАРОТАЖНОГО КАБЕЛЯ
Киреев В.В. 218

ОПТИМИЗАЦИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРПУСОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА С УЧЕТОМ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ
Классман Е.В. 220

РАДИАЦИОННЫЙ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
Кноль А.А., Москалев Ю.А. 222

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СНЯТИЯ ЗОНДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
Ковальский С.С., Лопатин И.В., Яковлев В.В. 224

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕНИТНОГО УГЛА И АЗИМУТА ПЛОСКОСТИ НАКЛОНЕНИЯ СКВАЖИНЫ
Коршунов А.В. 226

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ПРИВОДОМ
Краюхин А.С. 228

АТНК ИЗДЕЛИЙ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
Куликова И.В. 230

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
Ломова О.С., Гриневич В.А.... 232

СИНТЕЗ, ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА С ФУНКЦИЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ПРИМЕНЕНИИ НОВОГО АЛГОРИТМА ДИФФЕРЕНЦИПРВАНИЯ
Майстренко А.В., Старовойтов Н.В. 233

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
Микурова А.С.... 235

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ
Мисайлова Л.В. 237

МОМЕНТНО-ДЕМПФИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
Морозов Д.А.... 239

СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО КРЕМНИЯ НА ОСНОВЕ СВЧ АВТОДИННЫХ ДАТЧИКОВ
Новиков А.Н. 241

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Овчинников П.Г., Силушкин С.В., Спиридонова А.С. 243

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
Охорзина А.В, Китаева М.В. 245

ТРЕХФАЗНАЯ НУЛЕВАЯ СХЕМА С УРАВНИТЕЛЬНЫМ РЕАКТОРОМ
Пенин Е.О., Игольников Ю.С. 247

РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ
Пересветов М.В.... 248

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В АВИАЦИОННОМ ТОПЛИВЕ
Потудинский А.А. 250

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ
Пущин И.А., Миляев Д.В. 252

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ СКС10.02 НА ОАО "ЗАВОД БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ" Г. ОРЕНБУРГ
Сазанакова Т.Н. 254

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ КАРОТАЖНОГО КАБЕЛЯ
Силкина М.В 256

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ МНОГОПАРАМЕТРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ АЭСА
Слептерев В.А., Глазырин А.В. 258

УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА С ПК ПО СРЕДСТВАМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОРТА USB
Стариков С.С., Шкляр Е.И., Миляев Д.В 260

ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ИК ДИОДАХ
Стариков С.С., Шкляр Е.И., Миляев Д.В. 262

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ЧАСТОТЫ ПОВТОРЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО КОНТРОЛЯ
Сторожук Е.С., Редько В.В. 264

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ЛИДАРА В ПЛОСКОСТИ ГОРИЗОНТА
Теплоухов В.В. 266

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ СИСТЕМЫ СБОРА ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Ткачев В.Г., Ульянов И.А. 267

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ В СРЕДЕ MATHCAD
Ткаченко И.Ю. 269

ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА
Ткаченко Н.Ю., Губарев Ф.А., Суханов В.Б. 271

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ РОМИДА МЕДИ
Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В. 273

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ CUBR-ЛАЗЕР С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ИСТОЧНИКОМ НАКАЧКИ
Тригуб М.В., Федоров В.Ф., Бредер О.В. 274

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЕРКИ СКВАЖИННЫХ ИНКЛИНОМЕТРОВ
Гормаков А.Н., Ульянов И.А 276

К ВЫБОРУ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ
Уфимцева Е.О. 278

УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ
Хоменко Д.Б., Акмайкин Д.А. 280

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
Христолюбов А.А. 282

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СПЕКТРОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ АЭСА
Шахов А.В., Слептерев В.А. 284

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
Шкляр Е.И. , Миляев Д.В, Стариков С.С 286

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭХО-ИМПУЛЬСА
Шульгина Ю.В., Солдатов А.И. 288

ДИСКРЕТНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР С ЦИФРОВЫМ КАНАЛОМ УПРАВЛЕНИЯ
Юрченков В.А 290

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУХЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ
Юшков А.В., Земан С.К., Осипов А.В 291

СТРУЙНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ УГЛОВ НА ОСНОВЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ
Яшков В.А. 293

Секция 3. **ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЮНЕТА-ВИБРОГАСИТЕЛЯ
Ангаткина О.О. 299

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ПЕРЕДАЧАХ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕЛ
Беляев Д.В. 301

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНО - СТРУКТУРНОГО И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ
Бочектуева Е.Б. 303

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕРВОЗОЛОТНИКА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ И ПРИВОДОМ
Володкина Е.А., Семенова Я.В. 305

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТА В ЗАЦЕПЛЕНИИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МАСЕЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА
Галаюда И.В. 307

ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА БАЗЕ АОМ3
Горст М.В. 309

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОПРИВОДОВ МАШИН
Григорьев В.А., Минниахметов А.В 311

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОРМЫ НАБИВНЫХ СВАЙ
Грузин Т.В. 312

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРАТИФИЦИРВАННОГО ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ СРЕД
Гуданов И.С., Юрыгин П.П., Гончаров Г.М. 314

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФАСОННОГО ИНСТРУМЕНТА
Байкин П.И., Гюнтер А.Н., Кузнецов М.С. 315

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ НА СТРОЕНИЕ ПОЛУЧАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ
Дегтерев А.С. 317

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ БУРОВЫХ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Епихин А.В. 319

ОБ АНАЛИТИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ОБРАЗОВАННОГО ДИСКРЕТНЫМ ВИБРАЦИОННЫМ РЕЗАНИЕМ
Ермольчева Н.В. 321

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ МАСЕЛ СДМ
Ефимов М.В., Аникин Е.И. 323

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ИНТЕГРАЦИИ АБРАЗИВНОГО ШЛИФОВАНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ТВЧ
Зуб Н.П., Туревич С.В. 325

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Игнатьев Е.П. 327

ПЕРЕДОВЫЕ РЕШЕНИЯ ТОМСКИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
Ильин А.С., Панкратов Э.Н, Ан И-Кан. 329

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ЦИКЛОН-5
Карышев А.С., Лавров А.С. 331

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА ВХОДНОМ ВАЛУ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ИНЕРЦИИ ЗВЕНЬЕВ
Кобза Е.Е., Ефременков Е.А. 333

УСТАНОВКА ГИДРОМОНИТОРНО-ЭРОЗИОННОГО БУРЕНИЯ
Ковалев А.В. 334

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕЗИНЫ НА ЛИНИИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК
Козарь Д.М. 336

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВИБРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА С ОДНОПЕРИОДНЫМ РЕЗОНАНСНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ
Кондратьев А.А, Саньков В.С. 338

МЕХАНИЗМ ПОВОРОТА ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПРЕДЕРА НА ОСНОВЕ СПИРОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ
Корнеев Ю.В. 339

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
Кузнецов М.А, Ильященко Д.П., Кобзаренко Е.Е. 341

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ДЕТАЛЕЙ
Медведев Д.В., Куркина Л.А. 343

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ БОЧКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ЛИСТОВЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ЕЕ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
Кухта Ю.Б., Егорова Л.Г. 345

ПЛАЗМЕННО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ЧПУ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА
Лавров А.С., Карышев А.С. 347

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ШЛИФОВАНИЯ
Ломова О.С., Захаров С.Е. 348

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ 40Х ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПОТОКОМ В БЕЗВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
Малахов А.А., Гончаренко И.М. 350

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИАФРАГМЕННОГО ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА
Манеев А.С. 352

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ САПР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ
Оголь И.И. 354

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА АВТОМОБИЛЯ HONDA ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ
Опалев А.Э., Шишкова Н.В. 355

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУНТОРАЗРУШАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ
Прохоренко Н.Э., Пудов Е.Ю., ... 357

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЭКСКАВАЦИОННЫХ РАБОТ
Пудов Е.Ю., Антоненков Д.В., ... 359

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗНОШЕНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК ПЕРЕД ИХ УТИЛИЗАЦИЕЙ
Ремизов А.А. 361

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ОЧИСТКИ И ИНГИБИРОВАНИЯ
Федин Д.В. 363

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЕРЕДАЧА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ
Черемнов А.В. 365

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ ТИПА ОТСЛОЕНИЙ
Чермошенцева А.С., Булдакова Е.С. 367

ВЛИЯНИЕ ФРОНТА ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА ПРИ ОДНОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ
Чинахов Д.А., к.т.н., доцент, Томчик А.А. 369

Секция 4. **ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА**

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. СВОЙСТВА ЭЛЕГАЗА
Астафьев Д.С. 375

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ОБМОТКАХ И СТЕНКАХ БАКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Баженов М.С. 377

ВИДЫ ОТКАЗОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Балтынов Т.Т. 379

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Барвих Ю.Г. 380

УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА
Бобриков А.Н. 383

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И КАССЕТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ
Богомолов Е.Н. 385

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ТОРЦЕВЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Брагина Н.С., Ваняйкин А.Г. 387

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ИНТЕРГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ДПФ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЕРИОДА
Бутина Ю.А. 389

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Ван Бо 390

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
Васбеев Р.Р 392

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТИХИХОДНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
Волков К.В. 394

ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРЕРЫВИСТЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ТОКОВОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ
Воронина Н.А. 396

ПЕРЕНОСНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРОВЕРКИ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОВОЗА
Берг А.Ю., Высоцкий С.Э., Ларин А.О. 398

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИВОДНЫХ СИСТЕМ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Ганиев Р.Н., Гаврилов Е.Н. 400

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ ОДНОФАЗНОМ КОНДЕНСАТОРНОМ ПИТАНИИ
Гирник А.С. 402

АЛГОРИТМ ГРАДИЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ
Глотов А.А. 403

МНОГОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
Глухов Д.М., Ефанов А.М. 405

РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
Гогатишвили Е.Ю. 407

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛДТ-615
Голосуцкий Д.С. 409

ПРИНЦИП СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Гусев В.В. 411

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАКЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА
Дмитриева Е.М., Иванова А.Г. 413

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ БАРАБАННОЙ ПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗВОДНОГО ФТОРОВОДОРОДА
Дмитриенко В.Н. 415

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОЛЕБАНИЙ В РЕЗОНАНСНОМ КОНТУРЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ
Долбня П.А. 417

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОФИЛЯ КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Ахунов Д.А., Долгова А.В. 418

БУРОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА КОНТАКТЕ "ДОЛОТО – ГОРНАЯ ПОРОДА"
Епихин А.В. 420

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ
Есин П.С. 423

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДУГОГАСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
Жуковская А.А. 425

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ПАКЕТНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ
Иванова А.Г. 427

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
Ким Ю.В., Киселев А.В., Цукублин А.Б. 429

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ. СИНТЕЗ НЕЙРОЭМУЛЯТОРА ФИЛЬТРА НИЗКИХ ЧАСТОТ
Козлова Л.Е. 430

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Компанеец А.В., Пивченко В.П., Тестов Н.В. 432

СОВРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Кузнецов С.А. 434

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ЛИФТОВ
Куминов С.А. 436

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОЛЯРИЗОВАННОГО
Кушнарев Д.А. 438

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ
Ломаева Ю.В., Ломакин А.П., Лукьянов А.А. 440

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСКЛИНИВАНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЦН С ПЧ
Лопатин Р.Р. 441

РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
Лунёв Д.А. 443

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ МАХОВИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX CAD
Мезинова А.А. 445

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
Михайлов И.Ю. 447

ВИДЫ ОТКАЗОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Мукантаев А.К. 449

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ
Мукушева А.Б. 451

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
Немцов К.В. 453

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Нехлебова С.Г 454

МАНИПУЛЯТОР В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
Ни А.Э., Соколов А.П. 456

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ НА ПУСКОВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
Паюк Л.А 458

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ ПРИ ЗАДАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ
Поздеев Л.В., Целищев Г.П. 461

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕРМЕТИЧНОЙ МАГНИТНОЙ МУФТЫ
Полунин Д.В., Муравлёв О.П. 462

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ЗАДВИЖКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА
Прохоров А.В. 464

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ЕСТЕСТВЕННЫМ ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ
Рашидов Р.М. 466

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ ЛИНЕЙНОГО КВАДРАТИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НАПОРНОГО МЕХАНИЗМА
Рублевский И.С., Скоробогатый В.В. 467

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Сагалбаев Ж.И. 469

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО СВАРОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА
Сагова М.С 471

СИНТЕЗ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
Скоробогатый В.В., Рублевский И.С. 472

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕНТИЛЬНЫХ КОММУТИРУЮЩИХ И РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ
Сопыряева В.А. 474

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ
Султанкеримова И.Б., Марьин С.С. 476

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ПАЗА СТАТОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
Терновская С.А., Муравлева О.О. 478

СИНТЕЗ И НАСТРОЙКА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОПРИВОДА. АППРОКСИМАТОР НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А. 480

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ
Тулендинова А.К. 482

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Тютева П.В. 484

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Углянюк В.В., Муравлева О.О. 486

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ НАМОТКИ ТОНКОЙ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ
Усов С.В. 487

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Фахретдинов К.Г 489

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
Фомин А.В. 491

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРУБОК КОРИОЛИСОВА РАСХОДОМЕРА
Хачатурян Н.Ю. 493

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИВОД ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
Хворостенко Д.А., Качин О.С. 495

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
Хохлова М.Ю. 497

НАГРУЗОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
Шапарин А.А. 499

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
Шевчук В.П., Гусев В.В. 501

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ
XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 1

Компьютерная верстка *В.П. Аршинова*

Дизайн обложки *А.М. Петелин*

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.05.2010. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 29.72. Уч.-изд. л. 26.88.
Заказ 000-10. Тираж 250 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru