

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

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

9–13 апреля 2012 г.

В трех томах

Том 1

Томск 2012

УДК 62.001.001.5(063)

ББК 30.1л.0

C56

С56 **Современные техника и технологии:** сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 431 с.

Сборник содержит научные статьи студентов, аспирантов и молодых ученых – участников ежегодной Международной конференции «Современные техника и технологии», разделенные по научным направлениям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, преподавателей, исследователей в сфере энергетики, электромеханики, приборостроения, машиностроения, медицинской техники.

УДК 62.001.001.5 (063)

ББК 30.1л.0

Редакционная коллегия сборника

Зольникова Л.М., нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции

Сидорова О.В., эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ

Сивков А.А., д.т.н., проф. кафедры ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1

Силушкин С.В., ст.преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции № 2

Мартюшев Н.В., к.т.н., доцент каф. МТМ ИФВТ ТПУ, председатель секции № 3

Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы.

Издание осуществлено при финансовой поддержке фонда РФФИ

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2012

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2012

СЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО УРАВНЕНИЯМ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

Абрамочкина Л.В.

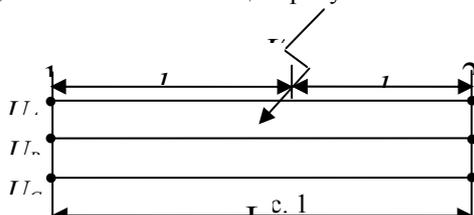
Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: abr_lv@mail.ru

Сокращение временных затрат на отыскание и устранение повреждений воздушных линий (ВЛ) электропередачи остаётся актуальной задачей. При этом важную роль играет точность определения места повреждения (ОМП). При высокой точности ОМП ремонтная бригада быстро находит повреждение и в сжатые сроки может приступить к ремонту. В условиях пересечённой местности или слабого развития дорожной сети на ВЛ значительной протяжённости точное ОМП позволяет сократить время поиска повреждения в несколько раз.

Задаче повышения точности ОМП уделяется большое внимание [1–3], однако по настоящее время остаётся ряд вопросов методического и технического характера, требующих глубокого рассмотрения. Среди них важным остаётся вопрос повышения точности вычисления удалённости точки короткого замыкания при ОМП по параметрам аварийного режима.

На данный момент в энергосистемах широко используются регистраторы аварийных сигналов (РАС), позволяющие измерять и записывать массивы мгновенных значений (ММЗ) электрических величин – токов и напряжений, в которых заключена достаточная информация о физических явлениях, представляющих интерес для построения более точных алгоритмов ОМП.

Возможности получения ММЗ используются в рассматриваемом далее алгоритме уточненного ОМП, основанном на математическом описании режимов ВЛ по уравнениям длинных линий. Содержание данного алгоритма для случая определения места короткого замыкания произвольного вида поясняется с помощью рисунка 1.



Для определения расстояний l_1, l_2 (см. рис. 1) от концов линии до точки K короткого замыкания используются уравнения длинной линии в форме гиперболических функций, записанные для первой и второй частей линии по схеме прямой последовательности для «особой» фазы (например, для фазы А). С учетом того, что $l_2 = l - l_1$, напряжение прямой последовательности \underline{U}_{A1} в точке короткого замыкания определяется по уравнениям:

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A1,1} ch \gamma_{\underline{0}1} l_1 - \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh \gamma_{\underline{0}1} l_1; \quad (1)$$

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A1,2} ch \gamma_{\underline{0}} (l - l_1) + \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B sh \gamma_{\underline{0}} (l - l_1), \quad (2)$$

где $\underline{U}_{A1,1}, \underline{U}_{A1,2}$ – векторные значения напряжений прямой последовательности фазы А в начале и конце линии;

$\underline{I}_{A1,1}, \underline{I}_{A1,2}$ – векторные значения токов прямой последовательности фазы А в начале и конце линии;

$\underline{Z}_B = \sqrt{(r_0 + jx_0)/(g_0 + jb_0)} = \sqrt{\underline{z}_0/\underline{y}_0}$ – волновое сопротивление линии;

$\gamma_{\underline{0}} = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \sqrt{\underline{z}_0 \underline{y}_0}$ – коэффициент распространения электромагнитной волны по линии.

Из очевидного равенства левых частей уравнений (1, 2) вытекает уравнение (3), позволяющее определить расстояние l_1 от начала линии до точки короткого замыкания:

$$\underline{U}_{A1,1} ch \gamma_{\underline{0}1} l_1 - \underline{U}_{A1,2} ch \gamma_{\underline{0}} (l - l_1) - \underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B sh \gamma_{\underline{0}1} l_1 - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B sh \gamma_{\underline{0}} (l - l_1) = 0 \quad (3)$$

Векторные значения напряжений и токов прямой последовательности фазы А, используемые в уравнениях (1, 2), могут быть найдены с помощью известного способа разложения несимметричной тройки векторов $\underline{E}_A, \underline{E}_B, \underline{E}_C$ на симметричные составляющие прямой \underline{E}_{A1} , обратной \underline{E}_{A2} и нулевой \underline{E}_0 последовательностей [4], осуществляемого с помощью операторов поворота $a = e^{j120^\circ}$, $a^2 = e^{j240^\circ}$ по формулам:

$$\underline{E}_{A1} = \frac{1}{3} (\underline{E}_A + a \underline{E}_B + a^2 \underline{E}_C);$$

$$\underline{E}_{A2} = \frac{1}{3} (\underline{E}_A + a^2 \underline{E}_B + a \underline{E}_C);$$

$$\underline{E}_0 = \frac{1}{3} (\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C).$$

ММЗ токов и напряжений каждой фазы, регистрируемые РАС в начале и конце линии, могут быть преобразованы в соответствующие им векторные величины с использованием обобщенных векторов [5]:

$$\underline{F}_\eta = \sqrt{2} F_\eta e^{j\varphi_\eta}, \quad \eta = A, B, C;$$

$$F_\eta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_\eta^2(t_j)}, \quad \eta = A, B, C;$$

$$\phi_{\eta} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_{\eta}(t_j) \cdot h_{\eta}(t_j))}{F_{\eta} \cdot H_{\eta}} \right), \quad \eta = A, B, C,$$

где $h_{\eta}(t_j)$, $\eta = A, B, C$; H_{η} , $\eta = A, B, C$ – соответственно, ММЗ и модуль вектора напряжения или тока, с которым совмещена ось отсчета углов.

Оценка методической погрешности рассмотренного способа определения места короткого замыкания на ЛЭП была проведена с помощью программного комплекса Mathcad на примере двух одноцепных воздушных линий, протяженностью 600 и 8 км, номинальным напряжением 500 кВ при мощности в конце линии $S_2=250+j105$ МВА. Погонные параметры линий одинаковы и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Погонные параметры линий

r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	g_0 , 10^{-9} См/км	b_0 , 10^{-6} См/км
0,022	0,301	7,333	3,694

Расчеты проводились для всех видов несимметричного КЗ на расстоянии 200 и 2 км для линий протяженностью 600 и 8 км соответственно.

Расчетным путем были получены ММЗ токов и напряжений трех фаз в начале и конце линии при шаге дискретизации $\Delta t = 0,317$ мс и соответствующем количестве отсчетов на периоде, равном 63. Результаты вычисления удаленности места повреждения по полученным ММЗ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета удаленности точки КЗ

Вид КЗ	$l=600$ км, $l_f=200$ км		$l=8$ км, $l_f=2$ км	
	l_f , км	Погрешность, %	l_f , км	Погрешность, %
$K^{(1)}$	200	0	2	0
$K^{(2)}$	200	0	2	0
$K^{(1,1)}$	200	0	2	0

Анализ результатов расчетов показывает отсутствие методической погрешности рассматриваемого алгоритма при шаге дискретизации $\Delta t = 0,317$ мс.

Одной из причин возникновения погрешности определения места повреждения предлагаемым алгоритмом может быть использование в уравнениях (1, 2) неточных значений погонных параметров линии, принимаемых по справочным данным. Для снижения этой погрешности предлагается использовать в уравнениях (1, 2) уточненные значения погонных параметров [6], рассчитанные по результатам регистрации параметров предаварийного режима.

В заключение отметим, что дальнейшее развитие методики ОМП, основанной на широком использовании уравнений длинной линии, в перспективе может привести к построению новых высокоточных средств ОМП линий электропередачи по параметрам аварийного режима.

Список литературы

1. Исследовательский центр «Бреслер» [Электронный ресурс]: Чебоксары, 2008-2011. URL: <http://www.ic-bresler.ru/>
2. «Кулибин» Объединенный центр развития российских инноваций [Электронный ресурс]: Разработка модульного высокоточного рефлектометра для кабельных и воздушных линий электропередач 2009. URL: <http://ru.domain1fc6c2.kulibin.org/>
3. 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.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы. – М.: Энергия, 1970. – 519 с.
5. Способ определения сдвига фаз между двумя синусоидальными сигналами: пат. 2242014 Рос. Федерация. № 2003138149; заявл. 31.03.03; опубл. 10.12.04; Бюл. № 30.– 17 с.
6. Хрущев Ю.В., Бацева Н.Л., Абрамочкина Л.В. Идентификация погонных параметров протяженной линии электропередачи с использованием регистраторов аварийных сигналов // Известия ТПУ. – 2011. – Т. 318. - № 4 - С. 118-122.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Акимжанов Т.Б., Боровиков В.С., Волков М.В.

Научный руководитель: Харлов Н.Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: rcr@tpu.ru

Многочисленные измерения, проведенные в электрических сетях электроснабжающих и промышленных предприятий России, показали, что в большинстве случаев эффективность транспорта электроэнергии находится на низком уровне. Возможно, это можно объяснить территориальным распадом СССР. Так, например, в период 1971 – 1987 гг. потери в сетях бывшего Минэнерго СССР колебались в диапазоне 8,96-9,43% отпуска электроэнергии в сеть и были сопоставимы с потерями в электрических сетях развитых стран [1]. В настоящее время ситуация хуже. На рис. 1 представлены данные Росстата о динамике потерь электрической энергии в электрических сетях РФ [2].

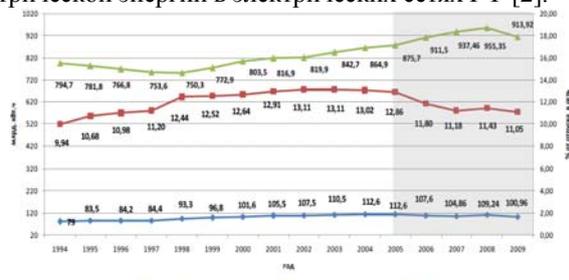


Рис. 1. Динамика потерь электроэнергии в электрических сетях РФ за 1994 – 2009 гг.

Согласно энергетической стратегии России до 2030 года уровень потерь необходимо снизить до 8% от отпуска в сеть [3].

Изыскание резервов снижения потерь электроэнергии – сложная задача. Необходимо подробное изучение структуры потерь, природы каждого вида потерь.

Одним из видов потерь являются добавочные потери, которые, следует отметить, не учитываются при регулировании отношений между потребителем и энергоснабжающей организацией. Под добавочными потерями принято понимать потери в элементах сети, вызванные несинусоидальным током за вычетом потерь от тока основной частоты.

Для выяснения возможных значений добавочных потерь, их соотношением с потерями от основной гармоники тока необходимо проведение соответствующих расчетов на основе данных полученных путем инструментально энергетического обследования.

Региональный центр ресурсосбережения при Национальном исследовательском Томском политехническом университете имеет богатый опыт и материал по инструментальному энергетическому обследованию электрических сетей и крупных промышленных предприятий, а именно: Новокуз-

нецкий алюминиевый завод, Мирнинский горно-обогатительный комбинат, ООО ПК «Агро-Череповец», МРСК Сибири (23% территории РФ) [4], МРСК Юга и др.

В электрических сетях названных предприятий помимо потерь активной мощности и электроэнергии, обусловленных передачей реактивной мощности, имеют место и добавочные потери [4].

В [5] рассматривается пример расчета потерь активной мощности с учетом добавочных потерь по результатам инструментального энергетического обследования предприятий электрических сетей 110 кВ филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Бурят-энерго», которое показало, заметное «отравление» режимов сетей 110 кВ несинусоидальными токами. На рис. 2 представлен характерный график суточного изменения коэффициентов искажения синусоидальности напряжений и токов.

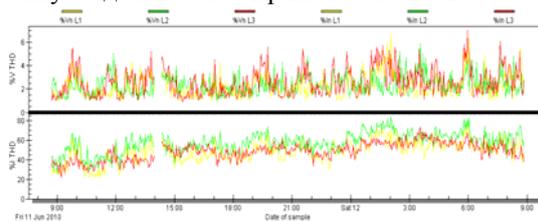


Рис. 2. Суточные графики искажения синусоидальности напряжений на шинах 110 кВ подстанции «Сосновоозерская» (верхний график) и токов линии СР-124 (нижний график)

Искажение синусоидальности токов на всем периоде измерений находится на высоком уровне, в ночное время прослеживаются тенденции к увеличению искажений. На рис. 3 приведены осциллограммы токов линии СР-124 в один из моментов времени.

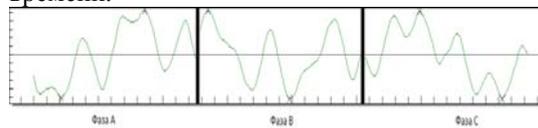


Рис. 3. Осциллограммы токов фаз А, В, С линии СР-124

Основными гармониками, искажающими кривые тока и напряжения, являются 3 и 5 (рис. 4).

Как видно из графиков, величина 3 гармоники достигает 100% от основной частоты, что свидетельствует о резонансе токов в линии.

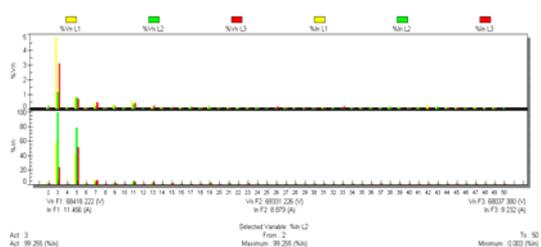


Рис. 4. Спектральный состав напряжений на шинах 110 кВ подстанции «Сосновоозерская» (верхний график) и токов линии СР-124 (нижний график)

Для вычисления уровня добавочных потерь, их соотношением с потерями от основной гармоники были проведены соответствующие расчеты на основе уникального алгоритма, написанного на языке программирования «Fortran Power Station 4.0». На рис. 5. представлены суточные графики изменения основных и добавочных потерь активной мощности в линии СР-124, полученные в результате расчета.

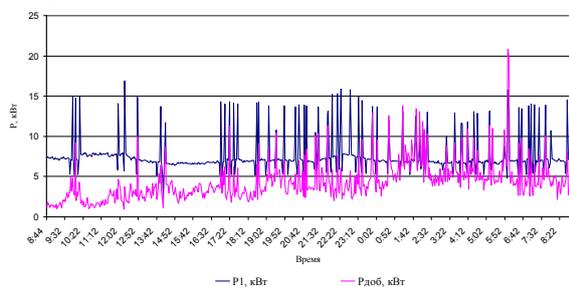


Рис. 5. Суточные графики изменения основных и добавочных потерь активной мощности в линии СР-124

Расчет основных и добавочных потерь был проведен на длине 52 км линии СР-124. Из графика видно, что добавочные потери достигают высокого уровня. В некоторые моменты времени добавочные потери активной мощности соизмеримы по величине с основными потерями и даже превышают их (рис. 6).

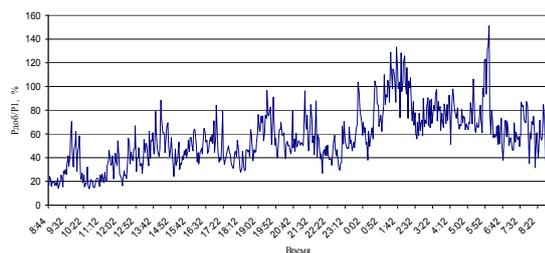


Рис. 6. Суточный график отношения добавочных потерь активной мощности к основным потерям на линии СР-124

Проведенные расчеты потерь активной энергии в линии на суточном интервале показывают, что добавочные потери в данном случае составляют 57% от основных потерь энергии.

Кроме линий электропередач, отмечается в [6], некоторые технические объекты, например обмотки трансформаторов, электрических машин, катушек, электромагнитов, реле и др., при промышленной частоте рассматриваются как цепи с сосредоточенными параметрами, а при более высоких частотах – уже как цепи с распределенными параметрами. Поэтому необходимо разработать, отсутствующие в настоящее время, методику и математический аппарат для расчета добавочных потерь в элементах электроэнергетических систем (реакторах, трансформаторах и др.).

Список литературы

1. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.: ил. – (Экономия топлива и электроэнергии).
2. Сайт ОАО НТЦ Электроэнергетики URL: <http://www.nts-power.ru> (дата обращения 10.02.2012).
3. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России до 2030 года».
4. Боровиков В.С. Волков М.В., Иванов В.В., Литвак В.В., Мельников В.А., Погонин А.И., Харлов Н.Н. Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
5. С.А. Фролова. Анализ транспорта электрической энергии на основе частотных характеристик ЛЭП // Энергосберегающие технологии: материалы Международной молодежной конференции / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2011. Том II.
6. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 248 с.: ил.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Александров Н.В.

Новосибирский Государственный Технический Университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: alexandrov-88@mail.ru

В Российской Федерации (РФ) сосредоточена одна из самых больших трансформаторных мощностей в мире. Это связано с тем, что в РФ вследствие больших расстояний между источниками генерации и потребителями имеет место многоступенчатая система повышения/понижения напряжения, которая приводит к большим потерям электроэнергии. Эти потери составляют около половины всех технических потерь при передаче и распределении электроэнергии. В свете вышесказанного становится актуальной замена старых трансформаторов, отработавших свой эксплуатационный срок службы, на силовые трансформаторы с высокотемпературными сверхпроводящими (ВТСП) обмотками, главным преимуществом которых являются низкие нагрузочные потери, по сравнению с традиционными трансформаторами. На рисунке 1 показана структурная схема ВТСП трансформатора.

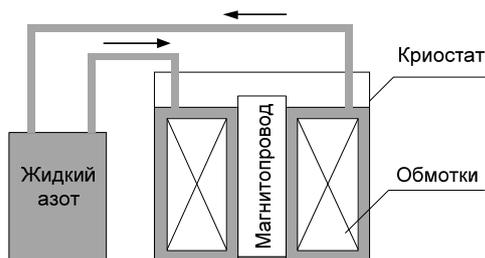


Рис. 1 – Структурная схема ВТСП трансформатора

ВТСП трансформаторы помимо меньших нагрузочных потерь по сравнению с традиционными трансформаторами обладают рядом преимуществ:

- уменьшение массогабаритных показателей трансформатора в 2 раза;
- ограничение токов короткого замыкания (КЗ), что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции;
- меньшая мощность, затрачиваемая на охлаждение;
- уменьшение уровня шума;
- пожаробезопасность;

В промышленно развитых странах ВТСП трансформаторы активно исследуются. После реализации разными исследовательскими группами проектов трансформаторов различной мощности и различного уровня напряжения был сделан вывод, что даже при нынешнем уровне цен на сверхпро-

водник ВТСП трансформатор может составить конкуренцию обычным трансформаторам. В таблице 1 приведены самые крупные реализованные проекты ВТСП трансформаторов [1-4].

В распределительных сетях сосредоточено наибольшее количество трансформаторов. Из общей величины технических потерь 78% приходится на электрические сети 110 кВ и ниже, в том числе 33,5% - на сети 0,4-10 кВ, из них на долю трансформаторов приходится около 70%. Трансформаторы напряжением 6-10 кВ - наиболее массовая серия производимых и эксплуатируемых силовых трансформаторов как в нашей стране и за рубежом. Общее количество распределительных трансформаторов в России составляет более чем 4 млн. шт. Ежегодное потребление электроэнергии в России находится на уровне 900 – 1000 миллиардов кВт*ч, при этом общие потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 7,5 миллиардов кВт*ч и примерно 50% - это потери в магнитопроводах трансформаторов. Ежегодные затраты на обслуживание одного распределительного трансформатора с магнитопроводом из холоднокатаной электротехнической стали составляют примерно 8% от его первоначальной стоимости [5,6].

Поэтому наибольший эффект от применения ВТСП трансформаторов может наблюдаться именно в распределительных сетях напряжением 0,38 - 110 кВ. При этом в ВТСП трансформаторах целесообразно использовать магнитопроводы из аморфной стали для снижения потерь холостого хода и уменьшения теплопритоков в криостат (если магнитопровод имеет холодное исполнение).

Непрерывное увеличение мощности энергосистем, вызванное ростом потребления электрической энергии приводит к увеличению токов короткого замыкания (КЗ). В ряде случаев это вызывает необходимость замены существующего электротехнического коммутационного оборудования (выключателей) более мощным, способным противостоять термическому и динамическому действию токов короткого замыкания, или же применения мер по их ограничению.

Второй путь является более дешевым, поэтому не лишено смысла использование ВТСП трансформаторов с функцией ограничения токов короткого замыкания.

Таблица 1 – Реализованные проекты ВТСП трансформаторов

Год	Организация	Страна	Мощность, МВА	Напряжение, кВ	Число фаз
2009	University of Nagoya	Япония	2	22	1
2005	Inst. of Electr. Eng	Китай	0,63	10,5	3
2005	Zhouzhu Locomotive	Китай	0,3	25	1
2004	Waukesha	США	5	24,9	3
2004	Fuji Electric	Япония	2	66	1
2004	Fuji Electric/ RTechnical Research Institute	Япония	4	25	1
2004	U Seoul	Корея	1	22,9	1
2001	Fuji Electric/Kyushu	Япония	1	6,9	
2001	Siemens	Германия	1	25	1
1999	Waukesha	США	1	13,8	1
1998	Fuji Electric/Kyushu	Япония	0,5	3,3	1
1996	ABB	Швейцария	0,63	18,42	3

Однако, при этом следует учесть то, что ВТСП ленты довольно хрупки и необходимы меры, по снижению влияния электродинамических сил, возникающих при коротком замыкании. Также необходимо учитывать небольшой диапазон криогенической устойчивости (способности возвращаться в сверхпроводящее состояние без отключения и дополнительного охлаждения при аномальном нагревании) ВТСП лент. Следовательно, при ограничении тока КЗ может потребоваться дополнительное охлаждение, зависящее от величины протекающего тока.

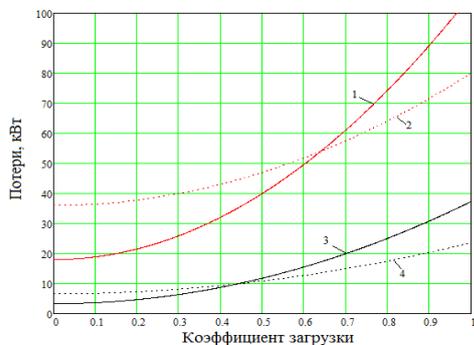


Рис. 2- Зависимость потерь в трансформаторе мощностью 16 МВА от коэффициента загрузки. 1 – для одиночного традиционного; 2 – для двух традиционных, работающих параллельно; 3 – для одиночного ВТСП; 4 – для двух ВТСП, работающих параллельно.

ВТСП трансформаторы обладают большой перегрузочной способностью без повреждения изоляции (например, ВТСП трансформатор мощностью 5 МВА, созданный компанией Waukesha обладал двойной перегрузочной способностью в течение 48 часов). Из рис. 2 видно, что у ВТСП трансформатора, работающего одиноч-

но, потери меньше, чем в двух традиционных трансформаторах, работающих параллельно. Поэтому, при внедрении в сеть ВТСП трансформаторов перспективным выглядит следующий вариант: на существующей подстанции с двумя обычными трансформаторами заменить первый трансформатор на ВТСП трансформатор, а второй вывести в резерв.

Таким образом, применение ВТСП трансформаторов в системах электроснабжения позволит повысить пропускную способность подстанции, снизить нагрузочные потери, ограничить токи короткого замыкания, а также может явиться первым этапом «обкатки» ВТСП трансформаторов и стать основой для создания и внедрения ВТСП трансформаторов больших мощностей.

Список литературы

1. Cryogenics 1998 Volume 38, No11, pp. 1169–1172.
2. IEEE Trans. Appl.Supercond. June 1997, Vol 7, No 2, pp 824-827.
3. IEEE Trans. Appl.Supercond. June 1999, Vol 9, No 2, pp 680-684.
4. IEEE Trans. Appl.Supercond. June 2007, Vol 17, No 2, pp 1927-1930.
5. Воротницкий В. Э., Калинкина М. А., Комкова Е. В., Пятигор В. И. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях, Энергосбережение. -2005. -№2. - С. 2-6
6. Савинцев Ю. М., Карамутдинов Р. Н., Боков В. А. Энергоэффективные распределительные трансформаторы: проблемы и надежды, Электротехнический рынок 2010 №3.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В СИСТЕМАХ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Андреев И.А.

Научный руководитель: Амосов В.В., к.т.н., доцент
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Политехническая ул., 29
E-mail: Andreev.ia@gmail.com

Согласно статистическим исследованиям EPRI (Electric Power Research Institute, США) [1], более 37% отказов и поломок генераторов и электродвигателей с воздушным охлаждением связаны с проблемами электрической изоляции статоров этих машин, которые, в первую очередь, обусловлены развитием в них частичных разрядов (ЧР).

В мировой практике ведутся работы по созданию методик оценки степени дефектности различных типов изоляции по характеристикам ЧР и определению остаточного ресурса системы электрической изоляции. Измерения и анализ характеристик ЧР является мощным инструментом для надежного выявления различных дефектов систем изоляции, которые зачастую не могут быть выявлены другими методами измерений. Согласно принятого в 2006 г. Стандарта МЭК [2], статистические характеристики (амплитудные и амплитудно-фазовые распределения) ЧР являются наиболее информативными признаками наличия различных технологических дефектов в системах изоляции высоковольтных электрических машин. Поэтому измерение таких характеристик становится общепринятой практикой при оценке качества высоковольтных машин.

Поскольку ЧР являются чувствительной характеристикой состояния изоляции, измерение их параметров позволяет:

- с высокой достоверностью выявить механизмы, разрушающие изоляцию и степень деградации изоляции на самых ранних стадиях возникновения старения;
- контролировать процесс старения изоляции во времени.

Это, в свою очередь, позволяет внедрить прогнозирующее техническое обслуживание испытуемого оборудования:

- выявить наличие слабых зон (дефектов) в изоляционной системе;
- провести конкретные превентивные ремонтные мероприятия в соответствии с результатами измерений характеристик ЧР;
- запланировать необходимость очередных испытаний и определить оптимальные межремонтные интервалы.

Анализ процессов ЧР в изоляции электрических машин приводит к необходимости использования дополнительных критериев для повышения информативности при оценке состояния изоляции по характеристикам ЧР. Так как ЧР имеют стохастический (случайный) характер, т.е. все их параметры существенно меняются во времени и имеют большой случайный разброс, то, естественно, импульсы ЧР, регистрируемые измерительной схемой, обладают теми же свойствами. Поэтому наиболее значимыми

параметрами ЧР являются их статистические распределения по амплитуде и фазе приложенного к испытуемому объекту напряжения, а не их интегральные характеристики. Амплитудное распределение ЧР (амплитудный спектр) представляет собой зависимость частоты следования ЧР от величины кажущегося заряда. Значительно большей информативностью по сравнению с амплитудным распределением обладает амплитудно-фазовое распределение ЧР (амплитудно-фазовый спектр). Амплитудно-фазовое распределение ЧР регистрируется с использованием измерительной аппаратуры, обеспечивающей возможность фазовой селекции импульсов ЧР. Измерение фазового распределения импульсов ЧР осуществляется разбиением периода напряжения, подаваемого на испытуемый объект, на определенное количество конечных интервалов. В каждом из этих интервалов проводится независимое измерение параметров ЧР

Важнейшим этапом исследования является идентификация дефектов изоляции, выполняемая на основе анализа измеренных параметров ЧР и сравнения их с базой данных (обучающая выборка), составленной по результатам экспериментов с использованием модельных испытательных образцов, с различными типами искусственно созданных дефектов системы изоляции с контролируруемыми геометрическими размерами.

Для реализации этой задачи были проведены измерения характеристик ЧР, развивающихся в специально разработанных модельных образцах с искусственно созданными дефектами изоляции, в каждом из которых реализуется какой-либо единственный тип ЧР, присущий системе статорной изоляции (внутренний, пазовый, поверхностный и т.д.). Модельные образцы представляли собой уменьшенные копии статорных стержней в виде медных шин прямоугольного сечения размерами (800x30x6) мм, изоляция которых изготавливалась из предварительно пропитанных слюдосодержащих изоляционных лент. Расчетная толщина изоляции макетов составляла 2 мм. Измерения ЧР проводились электрическим методом, согласно отечественного и международных стандартов [2,3] на промышленной частоте переменного тока при комнатной температуре по схеме с последовательным соединением измерительного сопротивления с измеряемым объектом, в реальных стержнях и в статорных обмотках электрических машин - по схеме с последовательным соединением измерительного сопротивления с соединительной емкостью. В качестве измерительного прибора использовался цифровой измерительный комплекс "СКИТ", (произ-

водства ФГУП СПбГПУ), регистрирующий следующие параметры ЧР:

- максимальный кажущийся заряд ЧР при скорости повторения импульсов ЧР выше 10 имп/с;
- частота повторения импульсов ЧР и средний ток ЧР;
- амплитудные спектры ЧР;
- фазовое распределение ЧР в пределах периода напряжения промышленной частоты (амплитудно-фазовые спектры).

Особое внимание уделялось идентификации ЧР, возникающих в лобовых и межфазных частях статорной обмотки высоковольтных электрических машин, одной из наиболее важных областей конструкции статорной обмотки. Модельный образец в этом случае представлял собой макет с искусственным повреждением лобового полупроводящего покрытия в виде продольного повреждения шириной 2,5 мм и длиной от 3,5 до 10,5 мм на границе раздела между пазовым проводящим и лобовым полупроводящим покрытием. В этом случае ЧР представляют собой поверхностные электрические разряды в лобовой части макета в области искусственного дефекта. Для сравнения, ЧР измерялись также и в модельном образце, где искусственные дефекты отсутствовали.

Алгоритм действий по идентификации типа дефектов в электрической изоляции, производимый по результатам измерения статистических характеристик ЧР, включал следующие этапы. На первом этапе измерялись амплитудные и амплитудно-фазовые спектры ЧР раздельно на положительной и отрицательной полярности испытательного напряжения за фиксированные промежутки времени измерения при определенном значении испытательного напряжения. Вторым этапом является представление спектров ЧР в цифровой форме и расчет идентификационных признаков, определяющих основные качественные и количественные особенности этих спектров. Цель выбора признаков состоит в том, чтобы понизить размерность спектра ЧР, используя некоторые его особенности и свойства. Существенное условие здесь состоит в том, что идентификационные признаки спектра должны различаться между различными источниками ЧР. В качестве конкретных признаков в работе использовались численные значения центральных моментов амплитудных и амплитудно-фазовых распределений ЧР (среднее значение кажущегося заряда ЧР спектра, стандартное отклонение, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса). Кроме этого использовались параметры, определяющие качественные и количественные отличия в спектрах ЧР на положительном и отрицательном полупериодах испытательного напряжения (коэффициент корреляции, коэффициент асимметрии спектров ЧР, а также отношение значений параметров формы рас-

пределений Вейбулла, аппроксимирующих спектры ЧР).

При сравнении спектров ЧР для исследуемых образцов изоляции, установлено, что для каждого из исследованных модельных образцов они характеризуются определенным набором различных по значениям идентификационных признаков. Основное различие наблюдается в значениях коэффициента эксцесса для положительного и отрицательного полупериода соответственно. Эти значения для модельного образца с искусственным повреждением полупроводящего покрытия более, чем в три раза превышают соответствующие признаки, характерные для модельных образцов без искусственных дефектов. Поскольку коэффициент эксцесса фазового распределения характеризует степень сосредоточенности фазовых углов возникновения импульсов ЧР, то, очевидно, что он имеет тесную корреляционную связь с пространственной сосредоточенностью ЧР в изоляции. Высокие значения коэффициентов коэффициента эксцесса свидетельствуют о том, что зона возникновения ЧР в модельном образце ограничена небольшой пространственной областью, а именно границами искусственного дефекта в полупроводящем слое и, наоборот, при их малых значениях ЧР рассредоточены в достаточно широком объеме образца, что, по-видимому, свидетельствует о появлении их в микроскопических дефектах, случайно распределенных в изоляции образца. Спектры ЧР, характеризующиеся идентичными идентификационными признаками, формируют кластеры, предназначенные для дальнейшей идентификации.

Таким образом, осуществляется набор и формирование базы данных по характерным признакам спектров ЧР в модельных образцах и реальных системах изоляции обмоток электрических машин с учетом величины испытательных напряжений, времени старения, места расположения дефектов в обмотке и т.д. С этой точки зрения для целей диагностики типов и опасности технологических и износовых дефектов важным является набор статистических данных по характеристикам ЧР в реальных статорных обмотках электрических машин различных типов, как в процессе сдаточных испытаний, так и в процессе их эксплуатации.

Литература:

1. Stone G.R. et al. Electrical Insulation for Rotating Machines. – J.Wiley INC, 2004, 370 p.
2. IEC 60034-27: Rotating Electrical Machines – Part 27: Partial Discharge Off-line Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Machinery, 2006, 44 p.
3. ГОСТ 20074-83 «Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов» – Изд. Стандартов, 1983. – 20 с.

ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОСНОВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЕЭС РОССИИ

Антонов П.С.

Научный руководитель: Баринов В.А., д.т.н., заведующий отделением
ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19
E-mail: antonov@eninnet.ru

В современных условиях наличия многочисленных собственников электроэнергетических объектов и создания рынка электроэнергии необходима адаптированная к новым условиям система управления отраслью, решающая задачу минимизации общесистемных затрат, необходимых для ее функционирования и развития.

В условиях плановой экономики была создана иерархическая централизованная система управления электроэнергетикой, в рамках которой разрабатывались согласованные планы её развития на различных временных и территориальных уровнях управления.

Несмотря на переход от управляемых вертикально-интегрированных энергокомпаний к созданию конкурентной среды в секторах генерации и потребления электроэнергии, планы по развитию электроэнергетики должны преследовать те же цели, что были поставлены в условиях её централизации. Кроме того, при сохранении регулирования в инфраструктуре рынка (электрические сети, управление), базовые принципы комплексной оптимизации функционирования и развития децентрализованной электроэнергетической отрасли схожи с теми, что существовали в условиях централизации [1].

В существующих условиях актуальна задача оптимизации структуры и состава объектов основной электрической сети на каждом этапе её развития с учетом меняющихся исходных данных о развитии других участников электроэнергетического рынка, а также планов экономического развития страны.

Данная задача должна решаться в условиях комплексной оптимизации развития электроэнергетики, которая сама по себе является очень сложной, требует декомпозиции и применения разных моделей на её различных уровнях.

В работе рассмотрен вопрос применения базового принципа оптимальности Р. Беллмана, описанного в его методе *динамического программирования* [2]. Это принцип звучит следующим образом: «Оптимальное поведение обладает тем свойством, что, каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения».

Применение динамического программирования оправдано в случае поэтапных динамических моделей, т.к. поиск оптимального варианта перебором заменяется многошаговым процессом оптимальных переходов от этапа к этапу для всех возможных состояний объекта оптимизации, что

приводит к снижению числа рассматриваемых вариантов.

Данный принцип является базовым для формирования основных математических рекуррентных соотношений, необходимых для проведения поэтапной оптимизации развития основной электрической сети ЕЭС России и помогает ответить не только на вопросы «Что» и «Где», но и на вопрос «Когда». Общая форма рекуррентных соотношений имеет следующий вид (в форме затрат):

$$Z_i^*(c_i) = \min_{c_{i-1}} [Z_i(c_{i-1}, c_i) + Z_{i-1}^*(c_{i-1})], \quad (1)$$

где i – индекс текущего года/этапа;

c_i – состояние электрической сети в год/этап i ;

$Z_i^*(c_i)$ – минимальные затраты за i лет на развитие электрической сети, которое заканчивается в состоянии c_i ; $Z_i(c_{i-1}, c_i)$ – затраты на переход из состояния c_{i-1} в c_i .

Задача оптимизации развития основной электрической сети является многокритериальной, и существует, как минимум, две постановки такой задачи. В первом случае показатели функционирования электроэнергетической системы, учитываемые при оптимизации, могут быть выражены количественно и приведены к форме затрат, т.е. они являются *соразмерными*.

Во втором случае эти показатели не могут быть выражены количественно, а если могут, то отсутствует их экономическая интерпретация [3]. Применение метода динамического программирования и общая форма записи рекуррентных соотношений позволяет рассмотреть возможные варианты формы записи целевой функции, которая может быть использована для определения оптимального состава мероприятий по развитию основной электрической сети на определенном этапе. Эти варианты, прежде всего, разбиты на две основные группы.

В одном случае целевая функция представляется в виде функции затрат, что, в свою очередь, требует экономической интерпретации различных критериев оптимизации (помимо требуемых капиталовложений и дополнительных эксплуатационных издержек, к этим критериям следует отнести надежность и качество электроснабжения, а также факторы влияющие на улучшение конкурентных способностей отдельных участников и др.).

С другой стороны возможно применение функции с несоразмерными членами, что, в свою очередь, вызывает дополнительные трудности, однако позволяет проводить многокритериальную опти-

мизацию и открывает возможности применения методов «нечеткой» логики (fuzzy methods) для принятия решений о строительстве тех или иных электросетевых объектов, позволяющих обеспечить экономичную, надежную и качественную работу основной электрической сети на всех этапах её развития и эксплуатации с учетом конкретных особенностей структуры и характеристик всех элементов в различных условиях их функционирования.

В случае так называемого «четкого» подхода, варианты, которые нарушают заданные ограничения, сразу «отмечаются», что сильно искажает суть задачи многокритериальной оптимизации с противоречивыми показателями.

Применение несоразмерных ограничений не требует экономической интерпретации тех или иных дополнительных критериев, которые, в свою очередь, могут требовать постоянной корректировки, особенно в условиях экономической нестабильности. Поскольку планирование развития основной электрической сети ЕЭС России может охватывать различные временные диапазоны (кратко-, средне- и долгосрочное планирование), то это может сильно сказаться на правильности выбранного ранее решения.

С другой стороны, применение метода «нечетких» ограничений позволяет применить метод скаляризации (этот метод также называют методом весовых коэффициентов). По этому методу все ограничения i характеризуются критериальными функциями φ_i и заменяются одной общей функцией φ . Замена происходит следующим образом [3]:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \varphi_i^0 \longrightarrow \text{extr}, \sum_{i=1}^n b_i = 1, \quad (2)$$

где φ_i^0 – критерии, записанные в безразмерном виде; b_i – весовые коэффициенты критериев, с помощью которых соизмеряется ценность (полезность) всех критериев.

В данной постановке задачи могут быть разработаны критериальные функции и соответствующие им весовые коэффициенты, отражающие степень важности того или иного ограничения (критерия), которые будут более устойчивы во времени и могут снизить долю неопределенности, рост которой за последнее время очевиден.

Однако следует отметить, что существует большая опасность проявить волюнтаризм при составлении критериальных функций, используемых при многокритериальной оптимизации.

В зарубежной литературе приведено описание возможных методов решения указанных выше задач и проблем [4-7]. Однако анализ функциониро-

вания перспективной электрической сети в схожих работах проводится на основе модели, особенностью которой является упрощенный учет потокораспределения мощностей и ограничений на потоки мощности по элементам сети. Это оправдано в тех случаях, когда моделируется сформировавшаяся концентрированная система. Пропускная способность элементов такой системы, как правило, определяется условиями допустимого нагрева проводов. Поэтому требование исследования режимов функционирования электрических сетей на основе модели переменного тока для этих моделей не обязательно, что совершенно нельзя сказать про электроэнергетические системы России, имеющие резко различающуюся концентрацию расположения энергетических объектов на своей территории.

Описанные выше вопросы указывают на необходимость формирования такой методики оптимизации развития основной электрической сети ЕЭС России, которая позволила бы перейти от минимизации функции дисконтированных затрат к более многокритериальному анализу в форме многоэтапной динамической оптимизации с использованием разработанных на сегодняшний день программных средств анализа функционирования электрических сетей, а также с учетом неопределенностей и рисков, возникших в результате либерализации отрасли.

Список литературы:

1. Волков Э.П., Баринов В.А., Маневич А.С. Методология обоснования и перспективы развития электроэнергетики России. М.: Энергоатомиздат, 2010.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
3. Дале В.А., Кришан З.П., Паэгле О.Г. Динамическая оптимизация развития электрических сетей. – Рига: Зинатне, 1990. – 248 с.
4. Pouria Maghouli, Seyed Hamid Hosseini, Majid Oloomi Buygi, Mohammad Shahidehpour. A scenario-based multi-objective model for multi-stage transmission expansion planning. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, No. 1, pp. 470-478, February 2011.
5. Xu Z., Dong Z. Y., Wong K.P. Transmission planning in a deregulated environment. IEE Proc.-Gener. Trasm. Distrib., Vol. 153, No. 3, May 2006.
6. Wu F.F., Zheng F.L., Wen F.S. Transmission investment and expansion planning in a restructured electricity market. Energy 31, pp. 954-966, 2006. M. Oloomi Buygi, G. Balzer, H. Modir Shanechi and M. Shahidehpour. "Market based transmission expansion planning; Fuzzy risk assessment", in Proc. 2004 IEEE PES DPRT Conf., Hong Kong.

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФАЗОПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА

Ахметов И.М.

Научный руководитель: Лачугин В.Ф., к.т.н., с.н.с.

«Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т., 19.

E-mail: ahmetovigor@gmail.com

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач в области энергетики является управление режимами работы энергосистемы с целью регулирования потоков энергии в сложных электрических сетях. Решение поставленной задачи осуществимо с помощью применения технологии гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока, в зарубежной терминологии называемой FACTS (Flexible AC Transmission Systems) [1].

Фазоповоротное устройство (ФПУ) является одним из перспективных вариантов реализации управляемых линий электропередачи (ЛЭП), обеспечивающим фазовый сдвиг между напряжением в ЛЭП путём ввода дополнительного напряжения.

В основу принципов выполнения релейной защиты ФПУ должны быть положены общие требования к устройствам релейной защиты электроустановок и требования к защите трансформаторов (автотрансформаторов) с обмоткой высшего напряжения 3 кВ и выше и шунтирующих реакторов 500 кВ, приведенные в главе 3.2 «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) [2], в Руководящих указаниях по релейной защите трансформаторов [3], а также в соответствующих отечественных и зарубежных публикациях.

Все ФПУ можно разделить на две категории: первая – фазоповоротные устройства предназначенные для соединения двух параллельно работающих линий разного класса напряжений; вторая – ФПУ предназначенные для контроля и регулирования перетоков мощности в одной и той же ЛЭП, соединяющей две смежные энергосистемы (ЭС).

ФПУ первого типа состоят из соединённых между собой автотрансформатора (АТ) и вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) [4], [5]. Управление таким ФПУ и регулировка угла фазового сдвига осуществляется за счёт управления АТ. Такой тип ФПУ наиболее простой. По существу его релейная защита – это индивидуальные устройства защиты АТ и ВДТ. Для защиты АТ и ВДТ этого ФПУ необходимо использовать следующие виды защит, рекомендуемые правилами устройств электроустановок:

- продольную дифференциальную защиту ВДТ;
- газовую защиту ВДТ;
- продольную дифференциальную защиту АТ;
- газовую защиту АТ;
- дистанционную защиту от междуфазных коротких замыканий (КЗ) в сети ВН;

- дистанционную защиту от междуфазных КЗ в сети среднего напряжения (СН);
- токовую защиту АТ с комбинированным пуском по напряжению от междуфазных КЗ, включенную со стороны высокого напряжения (ВН) АТ;
- токовую защиту от перегрузки АТ;
- токовую направленную защиту нулевой последовательности от КЗ на землю в сети ВН;
- токовую направленную защиту нулевой последовательности от КЗ на землю в сети СН;
- защиту от замыканий на землю в цепях низкого напряжения (НН) АТ, ВДТ и трансформатора собственных нужд с контролем напряжения и тока нулевой последовательности;
- устройство контроля изоляции вводов (КИВ) 500 кВ.

ФПУ второго типа несколько сложнее [6] – [8]. Оно состоит из серийного трансформатора, вторичной обмоткой включающегося в расщелку ЛЭП и шунтового трансформатора, первичной обмоткой соединенного с той же ЛЭП (напрямую или к среднему выводу вторичной обмотки серийного трансформатора) и коммутационного устройства, осуществляющего, по существу, изменение индуктивности вторичной обмотки шунтового трансформатора, которая подключается к первичной обмотке серийного трансформатора.

На таком ФПУ должна быть предусмотрена основная защита, предназначенная для действия при повреждении в пределах всего защищаемого элемента с временем, меньшим, чем у других установленных на этом элементе защит. Следует предусматривать также защиту, предназначенную для обеспечения ближнего и дальнего резервного, а также реагирующую на ненормальные режимы работы ФПУ. Схема основной защиты ФПУ представлена на рис.1. Схема резервной защиты представлена на рис.2.

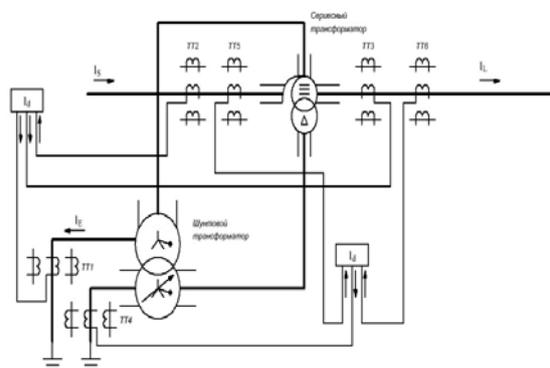


Рис. 1. Схема дифференциальной защиты ФПУ.

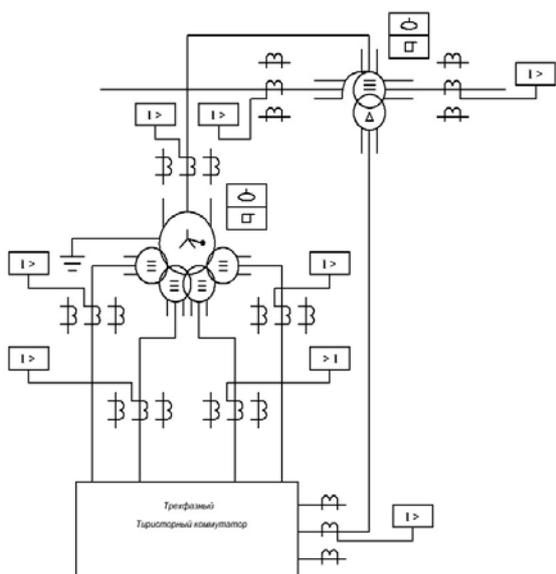


Рис.2. Схема резервной защиты ФПУ.

Таким образом, в релейной защите этого типа ФПУ необходимо использовать следующие виды устройств:

- газовая защита серийного трансформатора от повреждений внутри кожуха и от понижения уровня масла;
- газовая защита шунтового трансформатора от повреждений внутри кожуха и от понижения уровня масла;
- дифференциальная защита серийного и шунтового трансформаторов от повреждений на выводах, а также внутренних повреждений;
- максимальная токовая защита серийного трансформатора;
- максимальная токовая защита шунтового трансформатора;
- дистанционная защита ФПУ от междоузельных КЗ, реализующая резервирование основных защит серийного и шунтового трансформаторов;
- токовая защита от перегрузки серийного трансформатора;

• токовая защита от перегрузки шунтового трансформатора.

Использование этих устройств позволит обеспечить высокое быстродействие (не свыше 0,5 – 1 периода промышленной частоты) и селективность защиты при коротких замыканиях в ФПУ и во внешней сети.

Список литературы:

1. D. Dohnal, "On-Load Tap-Changers for Power Transformers", A Technical Digest; MR Publication, Printed in Germany, 2011.
2. Правила Устройства Электроустановок, шестое издание, дополненное с исправлениями. Госэнергонадзор. М., 2000.
3. Руководящие указания по релейной защите, выпуск 4, защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов. Госэнергоиздат. М. 1962.
4. Попов М.Г. Система релейной защиты управляемой межсистемной электропередачи // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2-2(100)/2010.
5. Ванин В. К., Попов М.Г., Фазоповоротный трансформатор. Особенности построения системы релейной защиты // Новости Электротехники, Журнал №2 (56), 2009.
6. New General Method for Differential Protection of Phase Shifting Transformers/ I. Ivankovic, B. Filipovic-Grcic, R. Rubesa // Z. Gajic, Member, IEEE, 2010.
7. Protecting a 138 KV Phase Shifting Transformer: EMTP modeling and model power system testing / Demetrios A. Tziouvaras // Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Pullman, WA USA, Ramon Jimenez // ComEd an Exelon Company Chicago, IL USA, 2002.
8. Protection of Phase Angle Regulating Transformers / Members of the Working Group, M. Ibrahim, F.P Plumtre / A report to the Substation Subcommittee of the IEEE Power System Relaying Committee prepared by Working Group K1, 1999.

СХЕМА КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Баранов В.А.

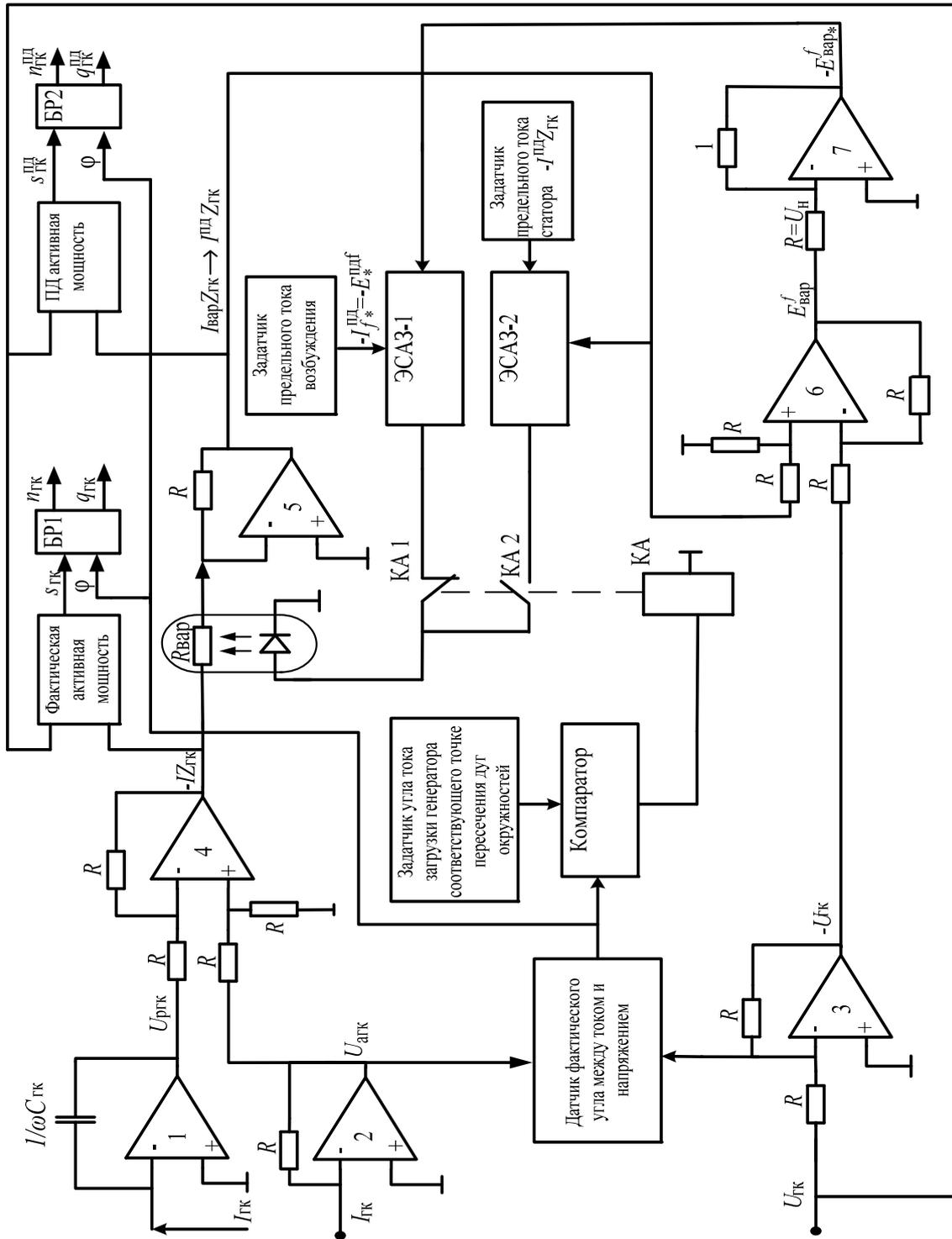
Научный руководитель Шмойлов А.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dar14@sibmail.com

В [1 и 2] представлены алгоритмы формирования предельных режимов синхронного генератора по току ротора $i_f^{пл}$ и току статора $i^{пл}$ в каждом из текущих рабочих режимов. Названное формирование представлено в виде круговой векторной диаграммы. При этом отмечается область этой диаграммы, определяемая предельным током статора $i^{пл}$ и являющаяся предельной по статической устойчивости. В данном материале представлена схема, реализующая указанный алгоритм и описана ее работа.

Схема моделирует предельные режимы работы синхронного генератора путем утяжеления фактического рабочего состояния. Утяжеление осуществляется путем увеличения рабочего тока статора, а угол между током и напряжением генератора остается неизменным, т.е. как в рабочем режиме. Это достигается следующим образом. На вход операционных усилителей 1 и 2 (далее ОУ) подается фактический рабочий ток генератора, формируя на выходе соответственно реактивное и активное составляющие, которые, суммируясь на ОУ 4, дают величину, равную падению напряжения $i z_{гк}$ на синхронном сопротивлении генератора $z_{гк}$. Данное напряжение затем подается на ОУ 5, во входной цепи которого установлено регулируемое решающее сопротивление, выполненное на оптопаре. Последнее управляется с помощью отрицательной обратной связи от задатчиков предельных соответственно тока возбуждения $i_f^{пл}$ через элемент сравнения абсолютных значений ЭСА3-1 и тока статора $i^{пл}$ в виде падения напряжения $i^{пл} z_{гк}$ на неизменном синхронном сопротивлении генератора $z_{гк}$ через элемент сравнения абсолютных значений ЭСА3-2. На второй вход ЭСА3-2 с выхода ОУ 5 подается варьированное с помощью варьированного сопротивления $R_{вар}$ оптрона напряжение $i_{вар} z_{гк}$. На второй вход ЭСА3-1 с выхода нормирующего ОУ 7 подается моделируемая ЭДС в поперечной оси генератора в относительных единицах $e_{вар}^f$. Данная ЭДС формируется через суммирующий ОУ6, на входы которого поданы моделируемое падение напряжения $i_{вар} z_{гк}$ на синхронном сопротивлении генератора и напряжение

$u_{гк}$, т.е. в соответствии с векторной диаграммой. В результате на выходе ОУ6 образуется искомая ЭДС $e_{вар}^f$ в именованных единицах, которая через нормирующий ОУ7 путем уменьшения в u_n раз преобразуется в $e_{вар}^f$. В процессе регулирующей функции отрицательной обратной связи через оптрон и ЭСА3-1 на выходе ОУ5 падение напряжения $i_{вар} z_{гк}$ будет стремиться к предельно допустимому значению $i^{пл} z_{гк}$, а на выходе ОУ 7 величина $e_{вар}^f$ – к предельно допустимой ЭДС $e_*^{пл}$ в поперечной оси по току возбуждения, а через ЭСА3-2 – соответственно к предельно допустимым значениям $i^{пл} z_{гк}$ и $e_*^{пл}$ по току статора. От результатов сравнения на ЭСА3-1 или ЭСА3-2 будет меняться решающее сопротивление для ОУ 5 (регулируемое сопротивление оптопары). Каким образом будет осуществляться регулирование по току возбуждения или по току статора, зависит от угла между током генератора $i_{гк}$ и нормальным напряжением генератора $u_{гк}$, который получаем с помощью датчика. Величина угла на компараторе сравнивается с величиной угла загрузки генератора, соответствующего точке пересечения дуг. С компаратора сигнал поступает на реле КА, которое управляет ключами КА 1 и КА 2. Если фактический угол φ между током и напряжением меньше угла загрузки генератора, соответствующего точке пересечения дуг окружностей, то реле замыкает ключ КА 2 и сопротивление оптрона регулируется сигналом с ЭСА3-2 (регулирование по току статора). В противном случае коммутируется ключ КА 1 и происходит регулирование по току возбуждения или ротора.

Также угол между током и напряжением будет использоваться для формирования величин активной и реактивной мощности. Для этого сначала перемножая $i z_{гк}$ и u_k получается полная фактическая мощность $s_{гк}$, а далее в блоке разложения БР1, умножая s_k на $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ получают фактические активная и реактивная мощности. Используя предельную величину $i^{пл} z_{гк}$ можно получить предельно допустимую полную мощность $s_k^{пл}$ и умножив ее на $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ в блоке разложения БР2 – предельно допустимые активную $p_{гк}^{пл}$ и реактивную $q_{гк}^{пл}$ мощности.



Литература

1. Батурин А.А. Контроль предельных режимов синхронного генератора: Энергетика: экология, надежность, безопасность // Тр. XI всерос. студ. науч.-техн. сем. В 2-х т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. –Т.1 – С.146–151.

2. Баранов В.А. Формирование предельных режимов синхронного генератора Современные техника и технологи // Материалы 17-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Изд-во ТПУ,–2011.в 3-х т.– Т. 1, –С.17-18.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Баранов И.Е., Сарсикеев Е.Ж.

Научный руководитель: Лукутин Б.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: baranov.ilia@gmail.com

Повышение надежности и энергетической эффективности автономных систем электроснабжения децентрализованных потребителей является важнейшей стратегической задачей развития энергетики России, без успешного решения которой невозможно социально-экономическое развитие многих регионов РФ.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование возобновляемых источников энергии и оптимизация режимов работы энергетического оборудования. Климатические и географические особенности децентрализованных зон определяют практическую возможность использования из всех видов возобновляемых энергоресурсов только энергию ветра. Ветроэнергетика в настоящее время является одним из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности в мире, а доля электроэнергетики, вырабатываемая ветроэнергетическими установками (ВЭУ) стремительно увеличивается.

Одним из основных элементов ВЭУ является электрический генератор, преобразующий механическую энергию вращения ветротурбины в электрическую энергию. За последние 20 лет в конструкции ВЭУ произошли качественные изменения. Во-первых, это касается снижения массогабаритных показателей ветротурбины, за счет использования полых лопастей из стеклопластика, армированных углеродным стекловолокном. Во-вторых, в ВЭУ малой мощности (до 100 кВт) наибольшее распространение получили синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов (СГПМ).

Как отмечено в [1], СГПМ имеют ряд преимуществ: высокую надежность, простоту конструкции, высокий коэффициент полезного действия, надежное возбуждение, улучшенные выходные характеристики, малую инерционность при переходных процессах. А самое главное достоинство для генераторов, применяемых в ВЭУ, лучшие массогабаритные показатели. Однако для электрических машин с подобным возбуждением характерны недостатки: отсутствие прямого способа регулирования напряжения, разброс параметров в характеристиках магнитов.

С целью проведения различных научных исследований, связанных с оптимизацией, управлением и регулированием рабочих режимов генерирующего оборудования автономных систем электроснабжения, широко используются методы математического и компьютерного моделирования.

При разработке математической модели возникает сложность в определении основных параметров как ветротурбины, так и электрического генератора, поскольку зачастую в техническом описании ВЭУ приводится крайне ограниченный объем информации.

В настоящей работе приведены результаты экспериментов по определению основных характеристик рассматриваемой электрической машины, которые необходимы при моделировании статических и динамических режимов работы как полунатурной модели ВЭУ в целом, так и СГПМ в частности.



Рис. 1. Испытательная установка

На рис. 1 приведены испытательная установка, состоящая из СГПМ, производства отечественной фирмы «ВИНДЭК», и двигателя постоянного тока серии 4ПНМ132М04, который имитирует работу ветротурбины. В технических документах для СГПМ отсутствует некоторая информация.

Первоначально опытным путем определено количество полюсов $2p=12$. Исходя из промышленной частоты генерируемого тока, определена номинальная частота вращения:

$$n = \frac{f}{p} = \frac{50}{6} = 8,33 \text{ об/с},$$

$$8,33 \text{ об/с} \approx 500 \text{ об/мин.}$$

Номинальное напряжение генератора можно приблизительно получить из значения ЭДС холостого хода при номинальных оборотах. Схема опыта представлена на рис. 2.

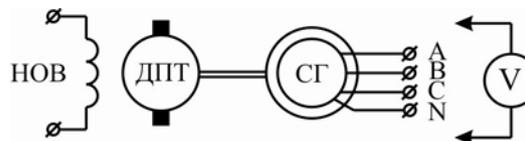


Рис. 2

Изменяя частоту вращения ДПТ, измерено напряжение на зажимах генератора. Частота вращения системы ДПТ-СГПМ измерена с помощью цифрового тахогенератора. Полученная характеристика холостого хода представлена на рис. 3.

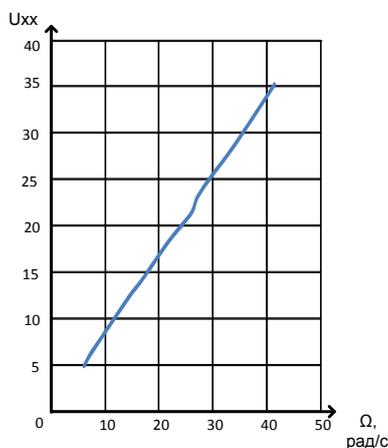


Рис.3. Характеристика холостого хода

Согласно [2], номинальное напряжение генератора принимается равным 42 В. Для дальнейших расчетов зависимость напряжения генератора от частоты вращения, об/мин, (угловой скорости, рад/с) аппроксимирована полиномом первой степени

$$U=0,8494*\Omega - 0,114.$$

Как правило, ВЭУ малых мощностей работают в составе автономных систем электроснабжения, в которых установленные мощности генерирующих и потребляющих установок соизмеримы. Поэтому любое изменение параметров одного из элементов системы оказывает существенное взаимовлияние.

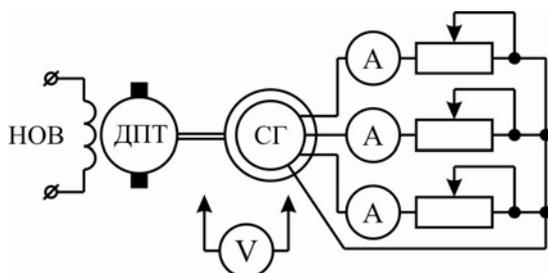


Рис. 4

В обеспечении устойчивой и надежной работы ВЭУ, как источника электроэнергии, играет важ-

ную роль нагрузочная способность генератора. Одной из подобных характеристик является внешняя, представляющая собой зависимость напряжения генератора от тока нагрузки. Схема опыта представлена на рис. 4. Последовательность опыта заключалась в ступенчатом набросе нагрузки при неизменном напряжении обмотки возбуждения и тока якоря ДПТ. При набросе нагрузки измерено снижение частоты вращения, что приблизительно позволяет определить величину ЭДС холостого хода. Следует отметить, что в качестве нагрузки использовались активные сопротивления. Результаты эксперимента приведены на рис. 5.

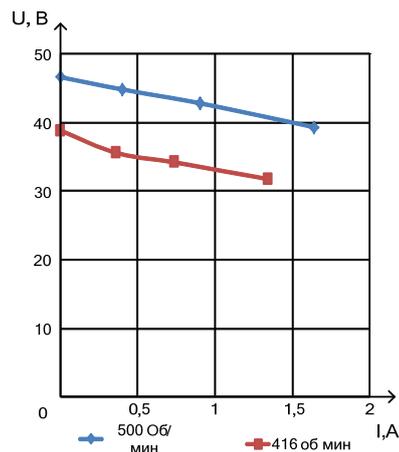


Рис. 5. Внешняя характеристика

Из полученных графиков видно, что характеристику можно аппроксимировать также полиномом первой степени и использовать эти выражения при дальнейших расчетах.

В заключении необходимо сказать, что по результатам основных опытов в первом приближении определяются основные параметры СГПМ: продольное и поперечное индуктивные сопротивления, реакция якоря. Эти основные величины необходимы при моделировании ВЭУ, в результате которого определяются оптимальные параметры системы в целом, как в статических, так и в динамических режимах работы.

Список литературы

1. В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
2. ГОСТ 23366-78 - Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока.

УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Беляев В.А., Манусов В.З.

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, К. Маркса пр., 20
E-mail: vova7@el.ru

ВВЕДЕНИЕ

Максимальная возможная энергия от слоя воздуха на высоте 0-100 м. 10^{12} кВт*ч, что равносильно гидроэлектрическому потенциалу. Более чем 1700 МВт мощности ветрогенераторов установлено во всем мире. Текущая генерация имеет 100 миллиардов кВт*ч энергии ежегодно. Новые развития энергетических полупроводников и технологий генераторов переменной частоты помогло осуществлению систем генерации переменной скорости [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Воздушная турбина соединяется с асинхронным генератором по типу «белочья клетка» через редуктор с повышающим передаточным числом, который используется, чтобы преобразовать низкую скорость ротора воздушной турбины в высокую скорость асинхронного генератора. Асинхронный генератор связан с двумя преобразователями: выпрямителем и инвертором, после чего сгенерированная мощность подается в систему [2].

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОТУРБИНЫ

Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения вследствие своей геометрии при любом направлении ветра находятся в рабочем положении. Кроме того, такая схема позволяет за счет удлинения вала установить редуктор с генераторами внизу башни, что способствует более легкому обслуживанию. Вращающим моментом вертикальной турбины является:

$$T_m = C_p(\lambda) \frac{0.5 \rho \pi R_w^3}{\eta_{GEAR}} v_w^2$$

Где, C_p = коэффициент мощности,
 λ = коэффициент быстроходности,
 ρ = плотность воздуха,
 R_w = радиус ветроколеса,
 v_w = скорость ветра,
 η_{GEAR} = угловая скорость ветроколеса.

НЕЧЕТКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

НЕЧЕТКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

В правилах нечетких контроллеров нечеткие множества, такие как «незначительно отстает» и «слегка увеличить», используются, чтобы классифицировать состояние управляемого объекта [3].

Эвристический способ поиска максимума может быть основан на правиле, названном как «нечеткое правило», которое выглядит

следующим образом: «Если последнее изменение во входной переменной (x) заставило переменную

выхода (y) увеличиваться, значит нужно увеличивать входную переменную в то же самое направление; если это заставило переменную выхода понижаться, значит нужно двигаться в противоположном направлении».

Рассмотрим один из видов регулирования нечетким контроллером.

НЕЧЕТКИЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРОКОЛЕСА

Принцип работы нечеткого контроллера заключается в увеличении или понижении скорости генератора в соответствии с увеличением или снижением предполагаемой выходной мощности P_0 . Если изменение ΔP_0 положительно при последнем положительном изменении $\Delta \omega_r$, поиск продолжается в том же направлении. Если, с другой стороны, положительное изменение $\Delta \omega_r$, приводит к отрицательному изменению ΔP_0 , направление поиска вменяется. Таким образом, во время этих пошаговых изменений скорости генератора контроллер отслеживает изменения в выходной мощности турбины и сохраняет постоянной скорость генератора, для которой эти изменения выходной мощности равны нулю. Если значение $\Delta \omega_{r1}$ сильно отличается от $\Delta \omega_{r2}$, контроллер будет задавать большее значение шага $\Delta \omega_r$, для ускорения достижения максимальной мощности. Аналогично, если текущая скорость генератора близка к $\Delta \omega_{r2}$, то контроллер должен задавать меньшее значение шага $\Delta \omega_r$, чтобы избежать колебаний и обеспечить стабильность системы. Это универсальная система нечеткого регулирования системы представлена на рис.1.

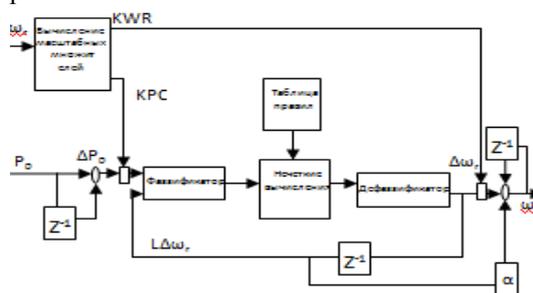


Рис.1. Блок-схема нечеткого контроллера

Масштабные множители KPO и KWR, генерируются как функция скорости генератора так, чтобы управление стало нечувствительным к изменению скорости ветра [4]. Значение этих коэффициентов выражаются как:

$$KPO = \alpha_1 \omega_r$$

$$KWR = \alpha_2 \omega_r$$

Где, α_1 и α_2 - постоянные коэффициенты, которые выводятся при моделировании.

Входные переменные, изменения выходной мощности ΔP_0 и последующее изменение скорости генератора $L\Delta\omega_r$, сначала преобразуются в соответствующие нечеткие множества: описательными и интуитивными значениями, такими как термы большой, средний, малый и нулевой. Это происходит в «блоке фаззификации», где переменные ΔP_0 (изменение выходной мощности), $\Delta\omega_r$ (изменение скорости генератора) и $L\Delta\omega_r$ (дальнейшее изменение скорости генератора) описываются функциями принадлежности, заданными на рис. 2.

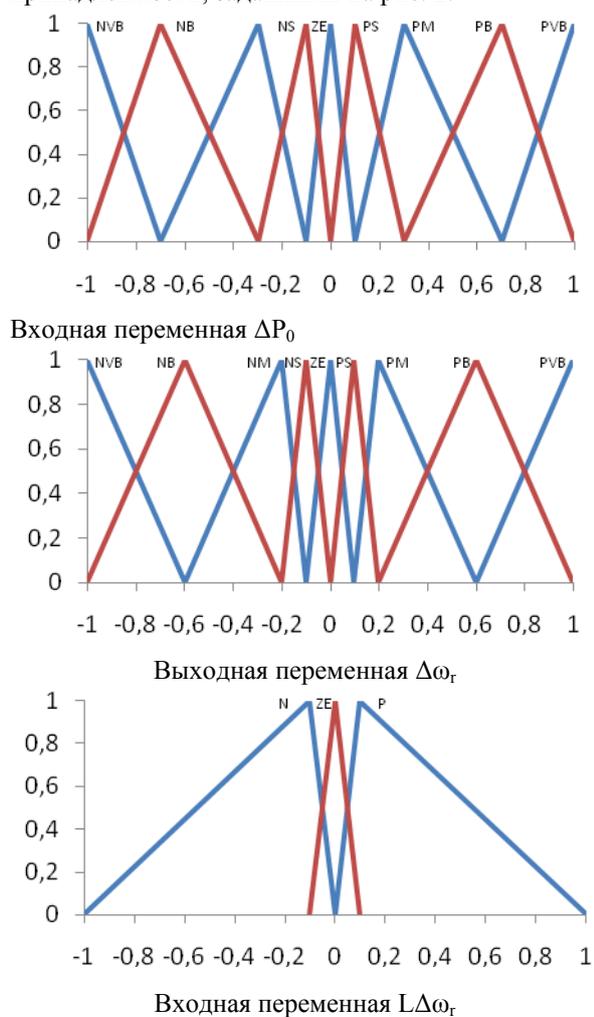


Рис.2. Функции принадлежности для нечеткого контроллера

Впоследствии, можно применить наглядные правила логического вывода: «если последнее изменение выходной мощности ΔP_0 во время поиска максимальной мощности было положительным и большим и последнее изменение желаемой скорости генератора $L\Delta\omega_r$, было положительным, тогда

продолжаем отслеживать максимальную мощность в том же самом положительном направлении с большим увеличением $\Delta\omega_r$ ». Правила, подобные этим, включены в блок «таблица правил» и даны в табл.1. В конечном итоге, выходные нечеткие множества, указывающие изменение скорости генератора $\Delta\omega_r$, поступают в «дефаззификатор», где преобразуются в действительные значения [5].

$\Delta P_0 \setminus L\Delta\omega_r$	P	ZE	N
NVB	NVB	NVB	NVB
NB	NB	NVB	PB
NM	NM	NB	PM
NS	NS	NM	PS
ZE	ZE	ZE	ZE
PS	PS	PM	NS
PM	PM	PB	NM
PB	PB	PVB	NB
PVB	PVB	PVB	NVB

Таблица 1. Таблица правил
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главные заключения данной статьи:

- Регулирование обеспечивает необходимый размер шага при поиске, чем достигается быстрая сходимость;
- При работе нечеткого контроллера не требуются сведения о скорости ветра;
- Нечеткий контроллер нечувствителен к изменениям системных параметров, что полезно при установке в ветровых турбинах любой мощности;
- Система может принимать искаженные и неточные сигналы;
- Нечеткие алгоритмы, используемые в системе, универсальны и могут быть применены в любой другой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Я.И. Шефтер. Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 202 с.
- [2] С.Н. Удалов. Возобновляемые источники энергии. – НГТУ, 2007. 432 с.
- [3] С.Н. Удалов, В.З. Манусов – Научный вестник НГТУ. –2010. – №1 – С.159.
- [4] K. Kaur, Dr.S.Chowdhury. Fuzzy logic based control of variable speed induction machine wind generation system // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. –JATIT. - 2007. - С. 1-10.
- [5] Bimal K., Ronald J. Fuzzy logic based intelligent control of a variable speed cage machine wind generation system // IEEE Transactions on power electronics. -1997. – Vol. 12. - №.1.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ Г. ТОМСКА

Березовская С.Е., Шелухин И.А.

Научный руководитель: Овчаров А.Т., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: berezza@sibmail.com

Международная практика утверждает, что качественное наружное освещение снижает количество ДТП в темное время суток в среднем на 30%. Светодиодные светильники, которые бурно развиваются в настоящее время, получили распространение и в области дорожного освещения. Основными преимуществами использования светодиодных светильников для указанных целей является их большой срок службы, высокое качество цветопередачи и энергетическая эффективность.

Однако в настоящее время благодаря преимуществам предпочтительны традиционные светильники с натриевыми трубчатыми (ДНаТ) или металлогалогенными (МГЛ) лампами высокого давления. Основное достоинство указанной ламповой техники обусловлено высокой световой отдачей, достаточно большим сроком службы и сравнительно небольшой стоимостью. По совокупности показателей альтернативы этой технике на текущий момент времени нет. Указанные достоинства обуславливают технико-экономическое обоснование их использования в сетях наружного освещения.

Тем не менее, в Томске наблюдается активное внедрение светодиодной техники в системы наружного освещения. По инициативе муниципальной власти в Томске проведена реконструкция осветительных установок (ОУ) ряда улиц. Насколько инициатива технически и экономически обоснованна?

В настоящей статье авторы на основе результатов обследования ОУ некоторых участков улиц города Томска, на которых проведена такая реконструкция, провели оценку технической и экономической обоснованности этих мероприятий. Обследования ОУ проведены на улицах Нахимова, Пушкина, Елизаровых.

В соответствии с [1] указанные выше улицы относятся к категории А - магистральные улицы общегородского значения, для которых средняя горизонтальная освещенность покрытия, с учетом коэффициента запаса $K_3=1,6$, составляет 32 лк.

ОУ ул. Нахимова по принципу организации является односторонней, на осветительных опорах спаренные светильники. Ширина проезжей части 22м, шаг опор 20м, высота установки светильников ≈ 6 м, угол наклона консоли $\approx 45^\circ$. Результаты измерений распределения горизонтальной освещенности (изолюксы) ОУ представлены на рис.1. Характерным недостатком следует отметить чрезмерную неоднородность распределения освещенности. Основные показатели ОУ ул. Нахимова приведены в таблице 1. Результаты измерений (табл.1) демонстрируют несоответствие ОУ требованиям СП 52.13330.2011 [1] и ухудшение качества освещения.

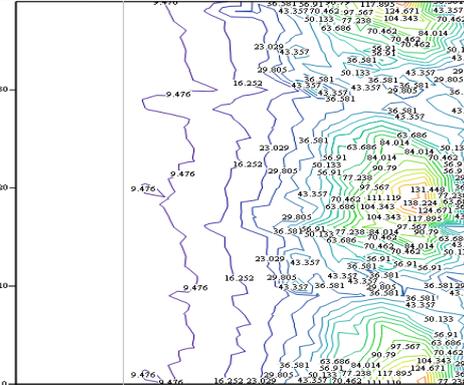


Рис. 1 Распределение освещенности (изолюксы) на проезжей части ул. Нахимова.

Неоднородность распределения освещенности представлена чередованием темных и светлых полос поперек улицы и резким градиентом освещенности по полосам движения транспорта. Например, средняя освещенность $E_{ср}$ со стороны светильников превышает 53лк, в то время как на противоположной полосе всего 6,7лк. Такую неоднородность не допускают нормативные требования: «Нормативное значение должно быть обеспечено для каждой полосы движения» [1]. После реконструкции ОУ, средняя освещенность по всем полосам движения автомобилей уменьшилась, что способствует ухудшению безопасности дорожного движения и увеличению числа ДТП. Очевидно, что ОУ ул. Нахимова требуют радикальной реконструкции. Пожалуй, единственным вариантом рационального устройства ОУ является организация установок по двухрядной схеме расположения светильников по оси улицы (на разделительной полосе) проезжей части, при одновременном увеличении высоты и шага опор. Такая схема организации освещения устраняет практически все недостатки ОУ.

В рамках технико-экономической оценки обследованы ОУ ул. Елизаровых и ул. Пушкина. Характер распределения освещенности для этих улиц аналогичен. Результаты измерений представлены на рис. 2 и 3.

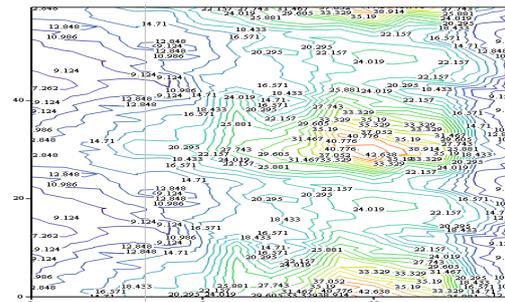


Рис. 2 Распределение освещенности (лк) на проезжей части ул. Елизаровых

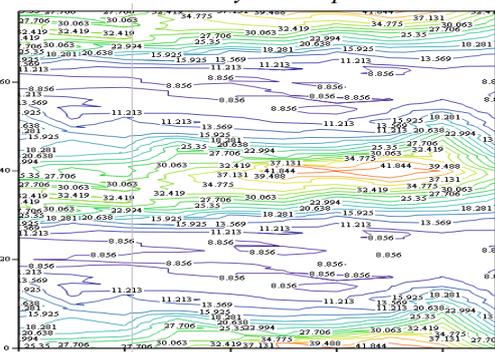


Рис. 3 Распределение освещенности (лк) на проезжей части ул. Пушкина

ОУ ул. Елизаровых построена по односторонней схеме, опоры расположены по одной стороне от проезжей части, ширина проезжей части 15м, шаг опор $d=40$ м, высота опоры 10м. Основным недостатком в освещении улицы является недостаточная горизонтальная освещённость. Вероятно в проекте реконструкции ошибочно рассчитана мощность светильника. Основные показатели наружного освещения ул. Елизаровых приведены в таблице 1. Учитывая специфику улицы (наличие с одной стороны высоковольтной линии напряжением 35 кВ), в качестве рекомендаций может быть предложен вариант применения светодиодных светильников с более «широкой» кривой силы света и в 1,5 раза большей мощности. Очевидно, что при этом энергосберегающий эффект не достигается. Проводя подобные мероприятия, следует помнить, что концепция «энергоэффективность» бессмысленна, если ОУ, оценка которой выполнена с этих позиций, не обеспечивает выполнение нормативных требований безопасности.

ОУ ул. Пушкина построена по двухрядной прямоугольной схеме, опоры расположены по обеим сторонам дороги. Ширина проезжей части 20м, расстояние между опорами 40м, высота опоры 10м. Основные показатели ОУ приведены в таблице 1. Для увеличения средней горизонтальной освещённости можно применить рекомендации для ОУ ул. Елизаровых.

Таблица 1.

Параметры	Нормативные требования *	ОУ ул. Нахимова		ОУ ул. Елизаровых		ОУ ул. Пушкина
		до	после	до	после	**
Еср, лк	32	37	30,2	23	18,7	18,7
E_{min}/E_{max}	$\geq 0,6$	0,006	0,019	0,06	0,121	0,156
$E_{min}/E_{ср}$	$\geq 0,4$	0,137	0,092	0,208	0,289	0,368
Мощность светильника, Вт	-	183	161 (170)**	305	234 (400)*	234 (400)***

* СП 52.13330.2011
** ОУ ул. Пушкина была введена в эксплуатацию в 2011г. Значения освещённости до реконструкции взяты из [2].
*** мощность светильника, соответствующая нормативной освещенности

Следующим этапом оценки мероприятий по реконструкции осветительных сетей является их экономическое обоснование. В качестве индикатора эффективности мероприятий был принят срок окупаемости. Техничко-экономические показатели мероприятий приведены в таблице 2. Параметры ОУ приведены к условиям, при которых удовлетворяются нормативные требования.

Таблица 2.

Энергосберегающий эффект в расчёте на 1 светильник	ОУ ул. Нахимова	ОУ ул. Елизаровых и ул. Пушкина
Экономия по мощности, Вт	13	-95
Время эксплуатации ОУ, ч/год	4500	
Экономия ЭЭ, кВт·ч/год	58	0
Тариф на ЭЭ, руб/кВт·ч (2011г.)	4	
Экономия денежных средств на оплату ЭЭ, руб/год	232	0
Капитальные затраты на реконструкцию* ОУ, руб	16000	22000
Срок окупаемости, год	60	Не окупается

Очевидно, что проведенная реконструкция ОУ не имеет под собой ни техническую, ни экономическую основу.

Таким образом, все перечисленные факты, свидетельствуют о том, что проект реконструкции ОУ наружного освещения г. Томска экономически не оправдан, а проведённые мероприятия следует считать волонтаристскими.

Список литературы:

1. Свод правил Российской Федерации, Естественное и Искусственное освещение. СП 52.13330.2011.
2. Заключение по энергетическому обследованию МП «Горсвет», г. Томск, 1997г.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Велиев М.К.

Научный руководитель: Сушков В.В., д.т.н., профессор

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет», 625008, Россия, г.Тюмень,

ул.Червишевский тракт, 13

E-mail: elektrik_2005@mail.ru

Вступление большинства нефтяных месторождений в стадию поздней разработки, наряду с множеством актуальных внутриотраслевых проблем, таких как повышение коэффициента извлечения нефти, снижение обводненности добываемой продукции, выявило необходимость решения задач направленных на оптимизацию существующих технологических процессов нефтедобычи в соответствии с новыми условиями разработки месторождений и приведение отрасли к главному критерию экономической эффективности – максимальной энергоэффективности технологических процессов [1].

В общей проблеме повышения эффективности технологических процессов нефтегазодобывающих предприятий, актуальной является проблема совершенствования технологической системы поддержания пластового давления (ППД) в части повышения эффективности заводнения, как основного способа воздействия на пласт и снижение удельных расходов электроэнергии на закачку рабочего агента [2].

Одно из направлений повышения эффективности технологической системы ППД связано с преобладанием, среди вновь вводимых объектов разработки, месторождений с неоднородными, сложнопостроенными и трудноизвлекаемыми запасами, что предполагает расширение диапазона и повышение управляемости воздействий. Эти воздействия заключаются в поскважинном оперативном управлении закачками и изменении давления закачки в максимально возможном технологическом и техническом диапазоне работы системы ППД, и организация комплексного воздействия на пласт с участием всех нагнетательных скважин [3].

Второе направление обусловлено значительным и всевозрастающим объемом потребления электроэнергии на заводнение в первую очередь насосными агрегатами кустовых насосных станций (КНС) [4]. Выполнение системой ППД технологического задания по закачке в пределах технологических ограничений, должно обеспечиваться при оптимальном энергоэффективном режиме работы системы по критерию минимума затрат электроэнергии.

Существующая технология непрерывных закачек (ТНЗ) в системе ППД [5], при которой в сети постоянно поддерживается давление, определяемое наиболее приемистыми скважинами, а распределение потоков по остальным скважинам осуществляется дросселированием на входе с помощью регулируемых штуцеров. Не смотря на простоту реализации данного способа регулирования, он имеет ряд существенных недостатков. Главным из них является снижение КПД КНС, особенно при «глубоком» регу-

лировании подачи. Это обусловлено тем, что энергия, затраченная на преодоление дополнительного сопротивления регулирующего устройства, преобразуется в тепловые потери и приводит к возрастанию непроизводительных потерь, что определяет низкую энергетическую эффективность данного способа. Другим недостатком этого способа является возможность однозонного регулирования в сторону уменьшения подачи или напора насосной установки.

Аналогичные потери имеют место при дросселировании общего потока на выходе КНС, с применением запорной арматуры на напорной линии насосов, когда гидравлическая характеристика сети и характеристика насосной станции пересекаются вне рабочей точки, определяемой требуемой подачей для выполнения технологического задания на закачку. Рост давления на выходе насоса при закрытии задвижки приводит к сокращению срока службы уплотнений и запорных устройств, а также к увеличению утечек жидкости через стыки и щели.

Указанные обстоятельство приводит к неизбежному повышению удельного расхода электроэнергии ввиду работы насосов на участках напорно-расходных характеристик с низким значением КПД и невозможности оперативного управления закачками в технологической системе.

Рассмотренные режимы управления направлены на удовлетворение технологических потребностей, таких как требуемый объем закачки, поддержание напора в контролируемой точке сети и, практически, не учитывают энергетических аспектов, что не позволяет реализовать имеющийся потенциал энергобережения системы ППД. По оценкам специалистов в настоящее время общая доля непроизводительных затрат и резервов экономии электроэнергии в нефтедобыче достигает 20%, из которых большая часть - 55%-60%, сосредоточена в технологической системе ППД [6].

Для обеспечения устойчивости и повышения маневренности заводнения, требуется системный подход к анализу энергопотребления существующих систем ППД – определение истинных характеристик всех важнейших элементов с точки зрения энергоэффективности и граничных условий их эксплуатации с целью комплексного рассмотрения решений по обеспечению энергоэффективных режимов работы, что также требует изменения существующих подходов к проектированию систем ППД, вовлечения новых инструментов и технологий управления.

Задача оптимизации режимов работы и управления энергопотреблением системы ППД, как любая сложная техническая задача, является многоцелевой

и связана с учетом множества неразрывных технологических, гидравлических и режимных характеристик всей системы. Основным показателем энергоэффективного функционирования системы следует считать удельное энергопотребление. В данном случае появляется возможность кооперирования целей и перехода к обобщающему показателю энергоэффективности – текущему относительному коэффициенту энергопотребления [7]. Данный коэффициент определяется как отношение потенциально достижимого расхода электроэнергии к фактическому.

В контексте обеспечения энергоэффективной работы при изменяющихся режимах технологической системы ППД, возникает необходимость оптимизации управления производительностью кустовых насосных станций. Эта задача может быть разделена на два типа: совместным регулированием гидравлических режимов работы насосов КНС, а также сети высоконапорных водоводов и повышением уровня управляемости КНС с целью обеспечения минимального значения коэффициента энергопотребления. Под повышением управляемости понимается степень контроля управляющей системы (КНС) над управляемой подсистемой (насосные агрегаты), то есть более адаптивное и оперативное поведение системы, по сравнению с традиционным управлением, при изменяющихся условиях технологического процесса.

Физическая суть оптимизации работы системы ППД заключается в сближении напорно-расходных характеристик сети и КНС при минимизации затрат энергии. Это значит, что каждому состоянию сети (характеристики скважин, характеристики сети высоконапорных водоводов) и совокупности заданий по закачкам в скважины, соответствует свой оптимальных режим работы сети в цикле – оптимальная траектория рабочей точки сети (ТРТ сети), при котором выполняются задания по закачкам, используется всё рабочее время цикла, а расход энергии (суммарный и удельный) является минимальным. При изменении любой из этих составляющих положение и вид ТРТ сети и расходы энергии изменяются.

Меры по сближению характеристики КНС и ТРТ:

- изменение числа рабочих колес у одного или нескольких насосов (грубая периодическая подгонка);
- включение в работу насосов (желательно однопоточных) с разными характеристиками и в различных сочетаниях;
- применение регулируемого электропривода (ЧРП).

Последняя мера является радикальной и дает наибольшее оперативное регулирующее воздействие, с наименьшими нерациональными потерями электроэнергии. Применение ЧРП дает возможность оптимального перераспределения нагрузок между параллельно работающими насосными агрегатами КНС, что особенно важно при работе насосов с отличающимися техническими характеристиками.

Применение регулируемого электропривода насосных агрегатов – является важным направлением в общей проблеме энергоэффективной работы технологической системы ППД, но требует обоснования в каждом конкретном случае.

Таким образом, постановка задачи оптимизации управления системами ППД, должна осуществляться в направлении повышения уровня управляемости с целью воздействия на пласт с одной стороны, а с другой извлечения максимума возможностей в сфере разработки и минимизации затрат энергии на выполнение технологического задания по закачке. Для достижения заданной цели необходимо применить системный подход к анализу способов управления процесса закачек и разработать новые способы и алгоритмы управления многомашинным комплексом КНС, которые минимизируют суммарную потребляемую мощность.

Список литературы:

1. Баранник В.А. Энергоэффективность экономики России и Украины// Академия энергетика, 2011, №5, С.22-28.
2. Зуев А.С. Организация повышения энергоэффективности в ТНК-ВР// Инженерная практика, 2011, №5, С.41-43.
3. Горбатов В.А, Ниссенбаум И.А., Пальянов А.П. Энергосбережение в системе ППД на основе оперативного управления процессом закачки// Энергетика Тюменского региона, 2000, №10, С.82-83.
4. Краснов Д.В., Онищенко Г.Б., Энергосбережение средствами регулируемого электропривода// Энергосбережение и водоподготовка, 2011, №5, С. 17-20.
5. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки, газа и воды нефтяных месторождений. ВНТП 3-85, МНП, 1985.
6. Байков И.Р., Елисеев М.В., Повышение энергоэффективности нефтедобычи// Инженерная практика, 2010, №3, С. 42-43.
7. Ивановский В.Н. Бенчмаркинг энергопотребления// Нефтегазовая вертикаль, 2011, № 21, С. 74-75.

СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Великий И.В., Семенов С.М., Иванов А.В.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: velikiyiv@mail.ru

При эксплуатации электрических сетей можно столкнуться со следующими проблемами: кратковременные импульсы при включении дополнительных потребителей, снижение и повышение напряжения сети при изменении величины подключенной к ней нагрузки, длительное отключение питания потребителей при авариях. Всё это может привести к негативным последствиям: выходу из строя оборудования (как промышленного, так и бытового), потере данных (сервера, ЭВМ и т.д.), нарушению технологического процесса на производстве, а как следствие к экономическим потерям. Наиболее опасно отключение медицинского оборудования, систем пожаротушения и вентиляции, так как это может привести к получению персоналом травм или более серьезным последствиям.

Качество электроэнергии в электрических сетях определяется ГОСТ 13109 – 97 [1]. Стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения). Основными контролируемыми параметрами ГОСТ 13109 - 97 являются: напряжение, частота сети и коэффициент нелинейных искажений формы напряжения.

Стоит отметить, что показатели и нормы КЭ для электрических сетей в России ниже требований к качеству электроэнергии европейских стран.

Современное оборудование, наряду с активным использованием инновационных технологий, становится все более чувствительным в отношении потребляемой энергии. Броски напряжения и перебои в электроснабжении негативно отражаются на стабильном качестве работы, а также и на исправности приборов, офисного и промышленного оборудования. Поэтому, в настоящее время, вопросу об обеспечении потребителей качественной электроэнергией уделяется повышенное внимание [2].

Для решения проблем обеспечения качественной электроэнергией однофазных нагрузок необходимо применять источники бесперебойного питания (ИБП).

Для формирования синусоидальной формы выходного напряжения применяется широтно-импульсная модуляция инвертируемого сигнала (ШИМ) [3].

Наиболее подходящим в рассматриваемой системе видом модуляции является ШИМ, при которой модулирование сигнала производится за счет изменения длительности импульсов.

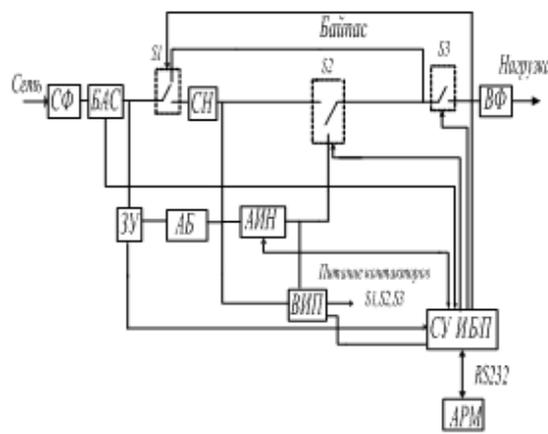
Таким образом, в разрабатываемом устройстве используется многократная однополярная ШИМ второго рода с синусоидальной функцией построения.

Разработка структурной схемы проводилась на основании проведенного обзора построения структурных схем СБЭП [4].

Разрабатываемый источник бесперебойного питания удовлетворяет следующим условиям:

- учитывает «технологические» особенности экстренных медицинских учреждений;
- соответствует характеристикам применяемой аппаратуры;
- обеспечивает необходимое время работы в автономном режиме;
- является надежным, долговечным, экологически чистым в эксплуатации;
- не обременяет персонал обслуживанием [5].

На основании вышеизложенного предложена структурная схема, изображенная на (рис. 1).



ис. 1. Разработанная структурная схема

Условные обозначения:

СН - стабилизатор напряжения.

СФ - сетевой фильтр напряжения.

БАС - блок анализа сети.

ЗУ - зарядное устройство.

АБ - блок аккумуляторных батарей.

АИН - автономный инвертор напряжения.

ВИП - внутренний источник питания.

СУ ИБП - система управления источником бесперебойного питания.

АРМ - автоматизированное рабочее место.

ВФ - выходной фильтр напряжения.

Рассмотрение динамических характеристик СБЭП проводилось для двух состояний, при которых:

- потребитель получает напряжение через АИН СБЭП от АБ, находящейся в режиме разряда (инверторный режим);
- потребитель получает напряжение от сети, а АБ находится в режиме заряда или «буфера» (зарядный режим).

При этом динамические характеристики СБЭП при переходе с одного режима на другой и наоборот фактически определяются реакцией на возмущающее воздействие в начальный момент наступающего режима. Графики переходной характеристики СБЭП в инверторном режиме и реакции системы на прямоугольный импульс представлены соответственно на рис. 2 – 3.

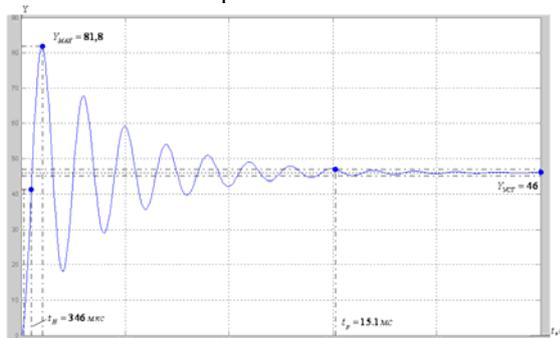


Рис. 2. Переходная характеристика СБЭП в инверторном режиме

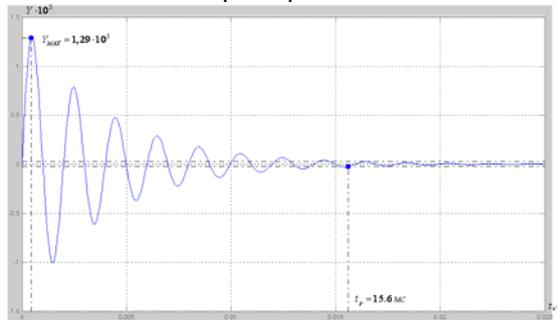


Рис. 3. Реакция системы на прямоугольный импульс

Сравнив показатели качества переходной характеристики и показатели качества реакции системы на прямоугольный импульс, можно сделать вывод, что для данной системы импульсные воздействия нежелательны, т.к. максимальное значение амплитуды при прямоугольном входном импульсе получается в разы больше, чем при обычном воздействии на систему.

В качестве корректирующего устройства выбираем ПИД-регулятор. При использовании ПИД-регулятора показатели качества системы при прямоугольном импульсном воздействии, меньше, чем показатели качества системы при прямоугольном импульсном воздействии без ПИД-регулятора, следовательно, при использовании ПИД-регулятора импульсное входное воздействие, менее страшно, чем для СБЭП без регулятора.

Разработанная система бесперебойного электропитания, используется для медицинского оборудования.

На основе обзора существующих на сегодняшний день схем построения подобных систем, была определена и обоснована структурная схема, а именно, устройство, которое имеет структуру построения типа line-interactive, что позволяет полностью решить требования, предъявленные к системе.

Проведенный анализ СБЭП с ПИД-регулятором и без него показал, что при использовании ПИД-регулятора импульсное входное воздействие, менее опасно, чем для СБЭП без регулятора.

Литература:

1. ГОСТ 1310-97. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт, 1988. – 42 с.
2. Технический регламент «О безопасности при нарушениях электроснабжения» (проект, версия 3 от 22.05.2006). М.: 2006. 25 с. Интернет-ресурс <http://www.vniie.ru>
3. Климов В. П. Кулакова А. В. Синяков В. В. «Многомодульный принцип построения однофазных источников бесперебойного питания». Интернет-ресурс <http://www.tensy.ru>
4. Лаврус В. С. «Источники энергии. Классификация источников бесперебойного питания». Интернет-ресурс <http://www.ups.ru>
5. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Шурыгин Ю.А. Системы аварийного электроснабжения экстренных медицинских отделений // Аппаратно - программные средства автоматизации технологических процессов: Сб. статей / Под ред. Ю.А. Шурыгина, Томск: Изд-во Том. ун-та, 1995, С.121–126с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ВЭУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Вихарева Е.В.

Научный руководитель: Обухов С.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: helen_8903@sibmail.com

Во всем мире ведутся исследования, направленные на поиск и вовлечения в топливно-энергетический баланс новых источников энергии. Особый интерес проявляется к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, таким как энергия солнца, ветра, гидроэнергия малых рек, приливная энергия и др. Потенциальные возможности применения этих источников практически не ограничены. Их экологическая чистота не вызывает сомнений.

Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии наиболее перспективно в районах, располагающих повышенным потенциалом этих источников и испытывающих недостаток в обычных традиционных топливных ресурсах. Наибольшие перспективы связываются с развитием ветроэнергетики.

Актуальность данной темы состоит в том, что ветер экологически чистый и экономически жизнеспособный источник энергии, который может быть использован в коммерческих масштабах, т.к. энергия ветра неисчерпаема.

В России в настоящий момент возобновляемые источники энергии используются весьма незначительно. Во многих регионах России, в которых ветроэнергетические установки могли бы решить и энергетические, и социальные, и экологические проблемы, развитие ветроэнергетики не происходит.

Целью данной работы является создание автоматизированной методики выбора ВЭУ малой мощности.

Ветроэнергетика в сознании людей

Во многих странах мира, особенно в тех, где существует нехватка электроэнергии, люди с радостью приветствуют строительство ветряков. Однако там, где существует альтернативный выбор, использование того или другого источника энергии связано с его воздействием на экологию. Необходимо отметить, что воздействие на экологию того или иного источника энергии может быть оценено как положительно, что естественно дает преимущество для данного источника энергии, так и отрицательно [1].

К достоинствам ветроэнергетики, прежде всего, следует отнести доступность, повсеместное распространение и практически неисчерпаемость ресурсов. Источник энергии не нужно добывать и транспортировать к месту потребления: ветер сам поступает к установленному на его пути ветродвигателю, что особенно важно для труднодоступных (арктических, степных, пустынных, горных и т.п.) районов, удаленных от источников централизованного энергоснабжения, и для относительно мелких потребителей энергии, рассредоточенных на обширных пространствах. Помимо того, что ветрогенератор позволяет создать бесперебойную систему энергоснабжения дома, у него есть также другие достоинства. Ветроэнергетика работает для того, чтобы обеспечивать

объекты энергией, не загрязняя при этом окружающую среду. Ветрогенераторы не вредят экологии своими негативными выбросами по той причине, что они у них полностью отсутствуют. Если ветрогенератор подобран правильно, то его использование принесет большую экономию. Также, энергия ветра, в отличие от ископаемого топлива, неисчислима [1,2].

В то же время существуют и недостатки ветроэлектростанций, которые затрудняют их внедрение. Основное препятствие к использованию ветра как энергетического источника — непостоянство его скорости во времени, следовательно, и энергии. Ветер характеризуется не только многолетней и сезонной изменчивостью — известно, что он может менять скорость и направление в течение очень коротких промежутков времени. Следующим из недостатков ветровых энергетических установок является шум, который неблагоприятно действуют на человеческий организм, что вызывает постоянное угнетающее состояние, сильную беспричинную обеспокоенность и жизненный дискомфорт. Однако нет никаких доказательств того, что шум ниже слухового порога вызывает какие-либо физиологические или психологические эффекты. Помимо шума, воспринимаемого человеческим ухом, вокруг ВЭС возникает опасный инфразвук частотой 6 – 7 Гц, вызывающий вибрацию. От него дребезжат стекла в окнах и посуда на полках. При эксплуатации ветроэнергетических установок в зимний период при высокой влажности воздуха возможно образование ледяных наростов на лопастях. В этом случае при пуске системы лед может разлетаться на значительное расстояние. Металлические сооружения ветроустановки, особенно элементы в лопастях, могут вызвать значительные помехи в приеме телепередач и радиосигналов. И чем крупнее агрегат, тем большие помехи он может создавать. Необходимо принимать во внимание и тот факт, что под ветрогенераторы необходима определенная площадь. Выделяли такой недостаток как нарушение маршрута миграции птиц. Однако было проведено несколько независимых исследований, связанных с гибелью птиц от вращающихся лопастей ветряка. К сожалению, подобное случается, но значительно реже, чем гибель птиц из-за столкновений с автомобилями, окнами зданий или высоковольтными линиями электропередач. Также экспертами было установлен тот факт, что земля вокруг ветряка предоставляет прекрасные условия для размножения птиц. И не подтвердился тот факт, что работа ветроэнергетических установок отрицательно влияет на растительность, а наоборот отмечают возможное положительное их значение на сельскохозяйственные культуры. На сегодняшний день единственная существующая проблема ветроэнергетики, требующая решения – утилизация лопастей ветрогенераторов из композитных материалов. К сожалению, на данный момент решение данной проблемы не найдено [1-3].

Моделирование ветрового режима ветроэнергетических установок

Специфика использования энергии ветра в качестве источника электроэнергии заключается в том, что размещение относительно стабильно работающей ВЭУ можно осуществить фактически в любой точке земного шара, а вот экономически обоснованными местами ее размещения будут только зоны с высокими среднегодовыми скоростями ветра (зоны высокопотенциальных ветровых потоков) [3,4].

С развитием вычислительной техники появилась возможность проводить достаточно точное моделирование различных систем. При этом значительно сокращаются расходы на проведение непосредственного эксперимента, так как многие параметры модели уточняются еще в ходе компьютерного моделирования.

При проведении исследований в области ветроэнергетики часто бывает необходимо использовать различные модели, так как эксперименты над реальным объектом не всегда возможны как по техническим, так и экономическим соображениям.

В настоящее время в России ведется работа над созданием имитационной модели ветрового режима ветроэнергетической установки в Excel для оценки вырабатываемой мощности, с помощью которой можно будет быстро и просто выбрать ветроэнергетическую установку в том или ином регионе.

Для того чтобы приступить к работе такой модели на интерактивной карте России выбирается населенный пункт, на территории которого предполагается установка ВЭУ. Затем осуществляется ввод потребляемой электрической энергии потребителем за год в кВт·ч. Далее с помощью данных метеослужб о скоростях ветра можно судить о перспективности применения ветроэнергетических установок в данном районе. Для выбора наиболее подходящей ветроэнергетической установки необходимо выполнить следующие расчеты: выявить число случаев в определенной градации скорости ветра, рассчитать дифференциальную и интегральную повторяемость скорости ветра для нахождения функции распределения Вейбулла, которая выражающая вероятную продолжительность действия скоростей ветра различных

значений, параметры которой варьируют в зависимости от характера местности. Данная функция характеризуется двумя параметрами: параметр формы и параметра масштаба. Данные параметры рассчитываются для вычисления количества вырабатываемой электроэнергии ветроэлектрической установки. По рассчитанному количеству энергии выбираются ветроустановки, таким образом, чтобы ее установленная энергия была больше количества энергии заявленной потребителем. Если это условие не выполняется, то необходимо наметить другие варианты ветроустановок. Далее производится анализ затрат выбранных моделей ветроэнергетических установок. Выбирается наиболее оптимальный вариант. Если не один из выбранных вариантов экономически не целесообразно применять, то необходимо рассмотреть другие варианты (рисунок 1). Созданная программа облегчит выбор ветроэнергетической установки [5,6].

Список литературы

1. Источники энергии // Энергия ветра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://teplonasos.ua/ru/raznoe/drugie-istochniki-energii/veter/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Куликова Л.В. Основы использования возобновляемых источников энергии // Ветроэнергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecoclub.nsu.ru/altenergy/common/common2.shtm>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Пармухина Е.Н. Рынок ветроэнергетики // Электротехнический рынок. 2009. №6 (30), с. 34-36.
4. Дорогайкин В.Е. Куда и почему дует ветер. Нетрадиционные источники энергии могут существенно улучшить экологический фон планеты // Промышленный еженедельник. 2007. № 5, с. 20-25.
5. Тон Ван де Веккен Разработка и применение ветряной электростанции // Руководство по практическому применению качества энергии. 2007. №1, с.1–19.
6. Вихарева Е.В. Выбор ВЭУ малой мощности по реальным характеристикам ветрового режима // Международная молодежная конференция «Энергосберегающие технологии» 28-30 июня 2011, Томск, с. 16-18.

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОМ РАЗРУШЕНИИ БЕТОНА

Н.В. Войтенко, Н.А. Иванов, М.И. Пивоваров

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

Томский политехнический университет, voitenko.nik@gmail.com

Введение

Электроразрядное разрушение является одним из перспективных способов разрушения горных пород, например, разрушения негабаритов при проведении буро-взрывных работ, где его использование эффективнее, чем использование взрывных или механических способов разрушения [1,2]. Выбор параметров высоковольтного импульсного генератора нужно осуществлять на основе предварительного моделирования и оценочного расчёта, что позволяет оценить величину энергии, требуемой для разрушения объектов определенных размеров, и выбрать требуемые параметры оборудования [3]. Моделирование электровзрывного разрушения требует учитывать большое количество различных параметров, одним из них является давление акустической волны, генерируемой расширяющимся разрядным каналом [4]. Поэтому экспериментальное измерение давления от разрядного канала является актуальной задачей.

Цель работы – экспериментальное измерение пикового давления от электровзрыва при разрушении бетонных блоков.

Методика эксперимента

Измерение пикового давления волны, генерируемой расширяющимся разрядным каналом в конденсированной среде, осуществлялось пьезоэлектрическим датчиком 014МТ. Базовая конструкция датчика приведена на рис.1.

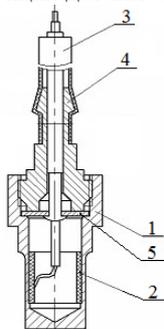


Рис. 1. Конструкция датчика давления. Где 1 – корпус, 2 – пьезоэлемент, 3 – кабель, 4 – ниппель, 5 – токосъемник.

Пьезоэлемент выполнен в виде радиально поляризованного цилиндра и жестко соединен с корпусом. Площадь торца датчика $S=26,4 \text{ мм}^2$.

Калибровка датчика

Для перевода сигнала, получаемого с датчика давления из единиц напряжения, в единицы давления необходимо знать чувствительность датчика. Существует ряд методов определения коэффициента пропорциональности. Для калибровки датчика используется метод падающей массы [5]. Подвешенный на нити груз падает с высоты h , ударяясь о плоскость торца датчика, оказывает давление $p(t)$, при этом на выходе датчика возникает напряжение $u(t)$, связанное с давлением выражением:

$P(t) = k u(t)$, где k – коэффициент пропорциональности, который рассчитывается, как:

$$k = \frac{2m\sqrt{2gh}}{S \cdot \int_0^t u(t) dt}$$

где m – масса груза (маятника), h – высота падения груза, S – площадь торца датчика, $u(t)$ – напряжение на выходе датчика.

Система калибровки датчика давления представляет собой физический маятник (рис.2, а), который крепится на оси при помощи нерастягивающейся нити, на которую крепится ударный молоточек. Для упрощения расчетов был выполнен переход от физического маятника к эквивалентному математическому маятнику (рис.2, б).

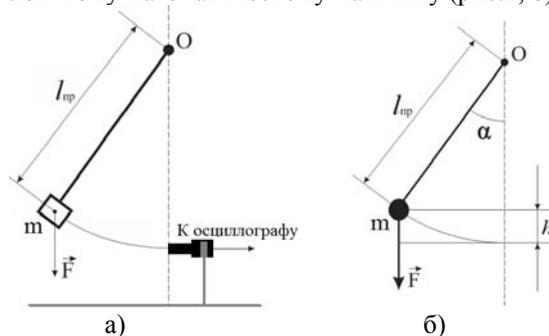


Рис. 2. Физический маятник (а), эквивалентный математический маятник (б).

Типичный сигнал с датчика приведен на рис.3. Рассчитанный коэффициент пропорциональности датчика $k=40 \text{ кПа/В}$.

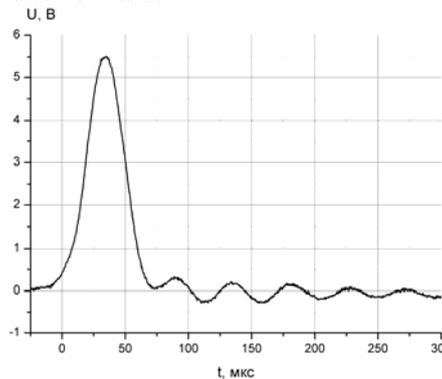


Рис.3. Сигнал на выходе пьезоэлектрического датчика при калибровке.

Экспериментальный стенд

Основным элементом стенда является емкостной импульсный генератор (ГИТ). Характеристики ГИТ-25 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Напряжение, кВ	Генератора	25
	Системы запуска	18
Запасаемая энергия, кДж		30

L , мкГн	1,1
Z , Ом	0,1
Количество конденсаторов (ИК 25-12)	8

Измерение давления осуществлялось при разрушении бетонного блока размером $200 \times 400 \times 400$ мм. В блоке пробуривался шпур и заполнялся водой. В заполненный водой шпур устанавливалась электродная система. Датчик крепился на боковой стороне блока, напротив разрядного промежутка (рис.4).

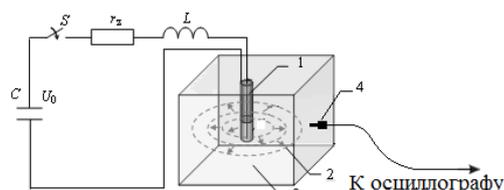


Рис.4. Схема эксперимента по измерению давления в бетоне при электроразрядном разрушении: 1 – шпур, 2 – ударно-волновые возмущения в материале, 3 – разрушаемый материал, 4 – пьезоэлектрический датчик.

Инициирование канала разряда осуществлялось электрическим взрывом медного проводника длиной 50 мм. Для регистрации напряжения использовался омический делитель, измерение тока осуществлялось поясом Роговского СWT-1500. Типичные осциллограммы сигналов, при взрыве проводника, приведены на рис.5.

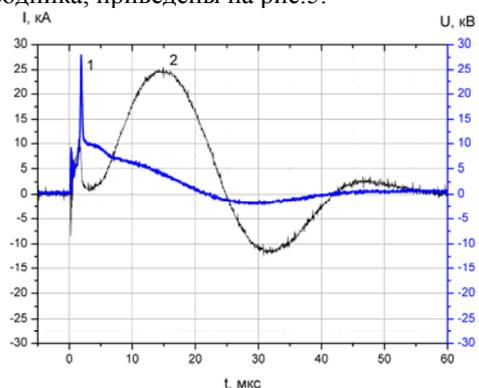


Рис.5 Сигналы напряжения (1) и тока (2). Зарядное напряжение 10 кВ, емкость ГИТ 12 мкФ.

Экспериментальные результаты

Эксперимент проводился при следующих параметрах генератора: емкость батареи конденсаторов – 24 мкФ (2 конденсатора), зарядное напряжение – 10 кВ. Измерение давления проводилось при разной индуктивности разрядного контура для оценки влияния времени выделения энергии на профиль волны давления. Результаты измерений приведены на рис. 6.

Из рис.6 видно, что при увеличении периода выделения энергии, возрастает длительность импульса давления. Расстояние от канала разряда до датчика определялось по времени между инициированием разряда (3 на рис. 6) и фронтом волны давления, время задержки сигнала равняется времени распространения акустической волны в бетоне.

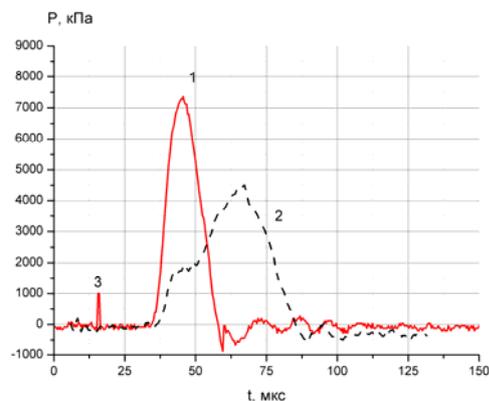


Рис.6. Давление акустической волны, генерируемой электровзрывом при различной индуктивности разрядного контура.

1 – $L = 1,22$ мкГн, 2 – $L = 5,93$ мкГн, 3 - момент взрыва проводника.

Выводы

В работе были получены следующие результаты:
- произведена калибровка пьезоэлектрического датчика $k = 40$ кПа/В;
- предложена схема эксперимента по измерению давления от разрядного канала;
- измерена величина давления на поверхности бетона при различной индуктивности ГИТ.

Литература

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986.- 253 с.
2. Смирнов В.П., Крастелев Е.Г., Нистратов В.М. и др. Мобильная установка электроразрядного разрушения горных пород и строительных конструкций // Строительные материалы.-1999 г.-№6.- С.13-15.
3. Сёмкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И., Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
4. Буркин В.В., Кузнецова Н.С., Лопатин В.В. Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках//Журнал технической физики – 2009. – №. 5. –т. 79 -С. 42-48.
- 5.Исакович Р.Я. Технологические измерения и приборы.– М.: Недра, 1979. – 344 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И ОБОГРЕВА ВОЗДУХООПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Волков А. В., Шишов О. В.

Научный руководитель: Шишов О.В., к.т.н. доцент

Мордовский государственный университет, 430000, Россия, г. Саранск, ул. Б.Хмельницкого, 39

E-mail: elsoldador@rambler.ru

Последнее время большой популярностью в нашей стране стали пользоваться спортивные сооружения из быстровозводимых воздухоопорных конструкций. Это сооружения, выполняемые из цельной многослойной оболочки. Принцип функционирования конструкций основан на поддержании незначительного избыточного давления внутри оболочки сооружения путем нагнетания наружного воздуха вентиляционной установкой. Привлекательность таких сооружений заключается в небольшом объеме первоначальных вложений. А недостаток – в больших эксплуатационных расходах, связанных с необходимостью постоянного поддержания избыточного давления под куполом. Потребление энергоресурсов таким объектом связано не только с необходимостью поддержания необходимого давления в куполе, но и с обеспечением нужной температуры, предельного уровня углекислого газа. При этом конечно, структура потребления ресурсов должна адаптироваться к текущим условиям окружающей среды, меняться в различное время суток и время года.

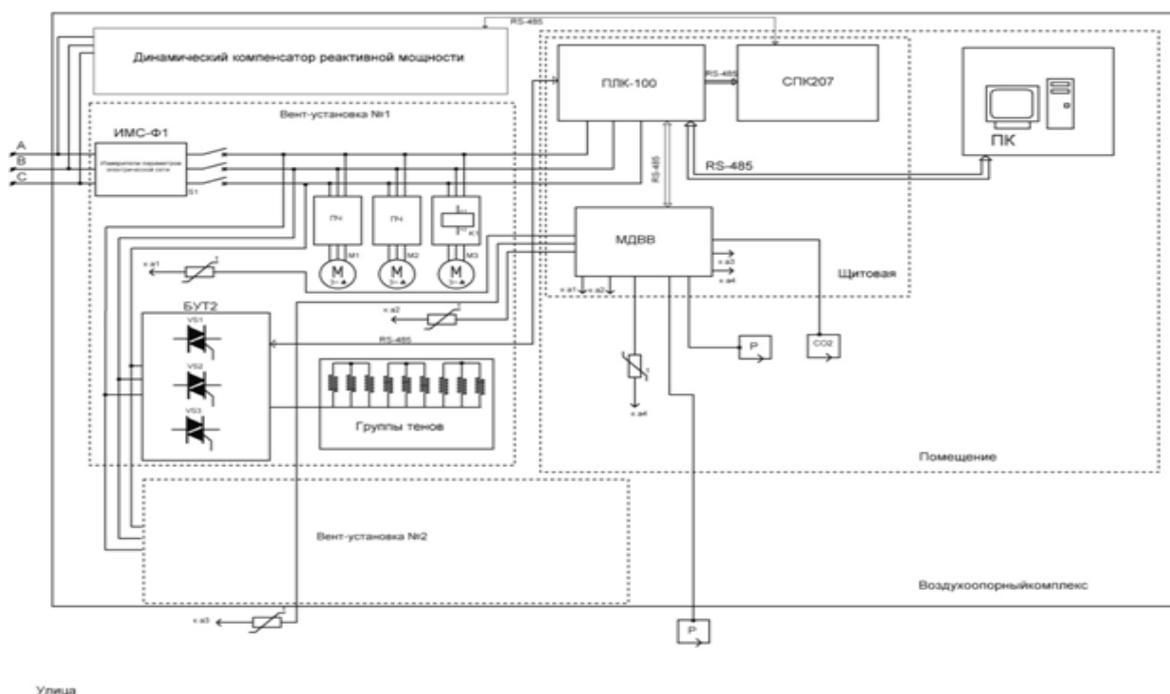
В данной статье рассматривается вариант построения системы автоматизированного управления энергетическими установками спортивного сооружения из воздухоопорных конструкций. Це-

люю ее создания было решение задачи оптимизации (и минимизации) потребления энергоресурсов.

Реализацию системы управления было решено проводить с использованием компонентов отечественного производителя комплексного оборудования систем автоматизации – фирмы «ОВЕН». Структурная схема системы представлена на рисунке 1. «Центральными» ее элементами являются: программируемый логический контроллер ПЛК100, операторная панель СП270, устройство аналогового ввода-вывода МДВВ. На эти элементы возлагается задача сбора данных с датчиков, отображение информации оператору и программное управление прочими компонентами.

Управление заключается в установлении взаимосвязи между следующими параметрами:

- температура на улице;
- температура в помещении;
- атмосферное давление;
- давление воздуха в помещении;
- процентное содержание CO₂ в помещении
- время года.



Сигналы от датчиков через МДВВ передаются в контроллер ПЛК100. Контроллер производит анализ значений текущих параметров, уставок и исходя из выбранных режимов выдает управляющие сигналы. Основными объектами управления являются двигатели М1–М3, вращающие соответствующие им вентиляционные установки, и группа ТЭНов.

Двигатель М1 имеет небольшую мощность и вентилятор, приводящийся им в движение, предназначен для текущего поддержания давления в куполе сооружения. Из-за негерметичности ткани купола и постоянного пользования посетителями шлюзовыми входами давление в куполе постоянно «страхливается» и двигатель М1 постоянно приводит в действие свой нагнетающий вентилятор. Для точного поддержания давления без излишних затрат электроэнергии вращение двигателя регулируется плавно с помощью частотного преобразователя, на который управляющий сигнал подается с ПЛК. Управляющий сигнал учитывает и величину сигнала с датчика уровня CO_2 , при этом фактором ограничивающим максимальную скорость вращения является предельный уровень давления в куполе.

Двигатель М2 имеет значительно большую мощность, чем двигатель М1 и предназначен для вращения вентилятора служащего для нагнетания давления при установке купола и отработки аварийных ситуаций. Кроме этого он может использоваться для ускоренной вентиляции помещения за счет быстрого смещения масс воздуха внутри купола.

В холодное время года эти вентиляторы (двигатели) используются в системе отопления. Нагрев подаваемого ими воздуха осуществляется за счет прокачки его через ТЭНы. Если разница уличной и внутренней температуры небольшая, то используется только двигатель М1, т. е. нагревается только подающийся с наружи воздух. Однако, если разница уличной и внутренней температуры большая, то используется внутренняя рециркуляция воздуха – забор воздуха из помещения и после его подогрева возврат его назад. Для рециркуляции воздуха используется двигатель М1. Для плавной регулировки температуры в помещении скорость этого двигателя может меняться плавно с помощью частотного преобразователя. Оптимальный энергетический режим устанавливается за

счет выбора числа включенных ТЭНов и частоты вращения одного или двух двигателей.

Летом возникает обратная задача – охлаждение воздуха в помещении. Это осуществляется путем прокачки воздуха через холодильные установки. В зависимости от давления в куполе, разницы температур на улице и в куполе охлаждается или воздух, подаваемый извне, или воздух, забранный из самого помещения.

Подача воздуха по тому или иному пути управляется с помощью заслонок, открывающих или перекрывающих подачу воздуха в соответствующие вентиляционные камеры. Для максимально гибкого управления степенью подачи воздуха извне используется клапан, связывающий систему вентиляции с внешней воздушной средой. Он управляется двигателем М3, и имеет четыре фиксированных положения.

Для управления группой ТЭНов используется блок управления симисторами и тиристорами БУТ-2. Управление двигателями М1 и М2 осуществляется частотными преобразователями ПЧВ205. Пуск двигателя М3 осуществляется замыканием контактов магнитного пускателя К1. Блок ИМС-Ф1 необходим для контроля параметров электрической сети. Динамический компенсатор реактивной мощности предназначен для повышения $\cos\phi$ с 0,4 до 0,9, что позволит сэкономить до 10–15 % затрат на электроэнергию в месяц. Все упомянутые элементы автоматики выпускаются компанией ОВЕН.

Все «интеллектуальные» компоненты системы автоматики объединены в сеть с использованием физического интерфейса RS-485. Контроль, настройка всех параметров компонентов может осуществляться с помощью персонального компьютера. Компьютер может использоваться только для параметризации элементов системы при ее пуске. Вместе с тем он может, как и операторная панель использоваться для наблюдения и управления параметрами работы системы автоматики. При этом ПК и операторная панель размещены в различных помещениях, так чтобы обеспечить максимально удобное и оперативное управление.

Список литературы

1. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления // Москва: Изд-во ИНФРА-М. 2012. – 397с.2.
2. ОВЕН

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Гиршин А.С.

Филиал ОАО «СО ЕЭС» Кузбасское РДУ, 650000, Россия, г. Кемерово, пр-кт Кузнецкий д. 28

E-mail: supergas@list.ru

Управление режимом работы энергосистемы (далее – ЭС) осуществляется согласно требованиям различных руководящих документов, в том числе Методических указаний по устойчивости энергосистем, утвержденных приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 277 (далее – МУ), в которых приведены требования к допустимым параметрам электрического режима с точки зрения надежности электроснабжения потребителей и устойчивой работы ЭС:

- минимальные коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в сечениях и напряжению в узлах нагрузки;

- группы нормативных возмущений, при которых должны обеспечиваться как динамическая устойчивость, так и нормируемые коэффициенты запаса статической устойчивости в послеаварийных режимах.

Согласно требованиям МУ для каждого контролируемого сечения должен быть определен максимально допустимый переток активной мощности (далее – МДП), удовлетворяющий условиям пп. 4.2.1-4.2.6 МУ.

Для контролируемых сечений крупных ЭС, характеризующихся длинными электропередачами условием назначения МДП, как правило, является соответствие коэффициента запаса устойчивости по активной мощности. В региональных ЭС чаще всего условием назначения МДП является превышение допустимой токовой загрузки электросетевого оборудования в послеаварийных режимах.

Согласно МУ при управлении режимом работы электрооборудования контроль допустимости токовой загрузки электросетевых элементов, входящих в состав контролируемого сечения, осуществляется не напрямую, а косвенно, посредством МДП.

Величина тока в элементе сети определяется по формуле:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U}, \quad (1)$$

где S , P , Q – соответственно полная, активная и реактивная мощности, протекаемые по элементу сети; U – напряжение, в точке контроля токовой загрузки элемента сети.

Из формулы (1) видно, что зависимость токовой загрузки элемента сети I от протекающей по нему активной мощности P не является линейной, так как в правой части формулы присутствуют переменные величины Q и U .

Таким образом, следуя требованиям МУ, величина МДП заведомо определяется с погрешностью. Величина погрешности зависит от фактиче-

ского изменения перетоков реактивной мощности в элементе сети и уровня напряжения в месте контроля. В реальности из-за указанных выше факторов погрешность при определении величины МДП по условию «непревышение допустимой токовой загрузки электросетевого оборудования в послеаварийных режимах» может достигать нескольких десятков процентов, в зависимости от фактического режима работы конкретного энергорайона/энергоузла.

Для более точного определения величины МДП руководящими документами предлагается учитывать прогнозируемые перетоки реактивной мощности. На практике прогноз перетоков реактивной мощности по элементам сети с необходимой точностью невозможен ввиду постоянно изменяющегося состава генерирующего оборудования на электростанциях, переменного режима работы СКРМ на подстанциях, работы устройств РПН автотрансформаторов и изменения величины реактивной мощности, потребляемой электроприемниками в различных узлах ЭС. Спрогнозировать с необходимой точностью все возможные варианты изменения совокупности указанных выше факторов, влияющих на перетоки реактивной мощности в элементах сети, не представляется возможным.

Как видно из формулы (1), на токовую загрузку элементов сети также влияет уровень напряжения в точке контроля. Фактический уровень напряжения в сетях 110-220 кВ напрямую зависит от уровня напряжения в системообразующей сети более высокого напряжения, т.е. они изменяются синхронно и пропорционально. Таким образом, закон изменения уровня напряжения в распределительной сети 110-220 кВ фактически в большей степени зависит от режима работы системообразующей сети высшего напряжения, чем от режима работы собственно распределительной сети.

Определение величин МДП контролируемых сечений производится с использованием расчетных моделей ЭС. Моделирование различных аварийных возмущений в ЭС выполняется на установленном электрическом режиме с относительно постоянным потокораспределением активной и реактивной мощностей, а также уровнем напряжения в сети. При этом для конкретного электрического режима зависимость между токовой загрузкой электросетевого элемента и величиной протекаемой по нему активной мощности можно описать следующим выражением:

$$P = k \times I. \quad (2)$$

Коэффициент k в формуле (2) характеризует складывающееся в конкретный момент времени сочетание установившегося потокораспределения активной и реактивной мощностей и уровней напряжения в месте контроля режима работы сетевых элементов ЭС. Мгновенный режим работы ЭС определяется режимом работы множества потребителей, генерирующего оборудования, СКРМ и электросетевых элементов с изменяемыми параметрами, соответственно коэффициент k постоянно меняется в пределах диапазона, границы которого определяются фактическим состоянием вышеперечисленных элементов ЭС. На практике диапазон изменения рассматриваемого коэффициента для конкретных контролируемых сечений может изменяться на десятки процентов.

Для обеспечения необходимого уровня надежности работы ЭС, в соответствии с требованиями МУ, при определении величины МДП необходимо рассматривать наиболее тяжелые нормативные возмущения. Поэтому расчеты выполняются на характерных наиболее тяжелых электрических режимах максимально приближенных к реальным, но всё же отличных от таковых. В таких режимах коэффициент k принимает критическое значение и является минимально возможным.

Фактические параметры нормального режима работы ЭС, как правило, значительно отличаются от параметров расчетного режима. Следовательно, реальный коэффициент k значительно больше расчетного, что приводит к недоиспользованию пропускной способности сети и, как следствие, к избыточным действиям по загрузке электростанций или аварийному ограничению потребителей направленных на непревышение установленных значений МДП.

Описанная проблема актуальна для ЭС, характеризующихся наличием большого дефицита электрической мощности в каком-либо энергорайоне и ограниченной пропускной способности сети. Дефицит мощности энергорайона покрывается перетоком мощности по ЛЭП, по совокупности которых обычно назначается контролируемое сечение. В таком случае, величина МДП указанного контролируемого сечения определяется допустимой токовой загрузкой подстанционного оборудования

и проводов ЛЭП. При этом применение косвенного контроля токовой загрузки электросетевого оборудования посредством МДП приводит к некорректной оценке сложившегося режима работы таких контролируемых сечений и, следовательно, дефицитного по мощности энергорайона.

Для решения рассматриваемой проблемы при управлении режимом работы контролируемых сечений, величина МДП которых определяется допустимой токовой нагрузкой элементов сети в послеаварийных режимах, предлагается использовать прямой контроль их токовой загрузки, а не контроль перетоков активной мощности по элементам сети. В этом случае исчезает необходимость сопоставления токовой загрузки элемента сети с протекаемой по нему активной мощности посредством трудно прогнозируемого коэффициента k .

Переход на контроль максимально допустимой токовой загрузки (далее – МДТЗ) позволит при определении его критических значений не учитывать состав генерирующего оборудования на электростанциях, режим работы СКРМ, уровни напряжения в сети и режим работы потребителей электрической мощности. МДТЗ определяется и зависит исключительно от топологии сети и в одной и той же схеме при различных режимах работы ЭС остается величиной постоянной.

Таким образом, переход при управлении режимом работы контролируемых сечений на контроль величины МДТЗ обеспечит:

- 1) более полное использование пропускной способности электрической сети в любой момент времени вне зависимости от режима работы ЭС;
- 2) минимизацию погрешности вычислений при определении допустимого режима работы электросетевого оборудования;
- 3) уменьшение трудозатрат при выполнении расчетов величин МДТЗ в виду отсутствия необходимости прогнозирования перетоков реактивной мощности в элементах электрической сети.

Список литературы:

- 1) Методических указаний по устойчивости энергосистем. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2004 – 16 с.

АНАЛИЗ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ В ЦЕЛЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Гордиенко И.С.

Научный руководитель: Гусев А.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ivangs87@mail.ru

Надежность и эффективность функционирования ЭЭС в аварийных режимах работы в значительной мере определяется правильностью работы средств релейной защиты (РЗ). Между тем значительная часть тяжелых аварий в ЭЭС происходит из-за неправильных действий средств РЗ [1]. К причинам неправильных действий РЗ относят: 1) недостаточную достоверность определения исходных режимных величин, используемых при проектировании и эксплуатации РЗ; 2) грубый учет погрешностей вносимых аппаратной реализацией РЗ и измерительными трансформаторами; 3) ограниченные функциональные возможности самих средств РЗ.

Первая причина минимизируется применением программно-аппаратных комплексов, таких как ВМК РВ ЭЭС [2], RTDS [3], позволяющих достаточно точно моделировать процессы в ЭЭС для определения исходных режимных величин. Вторая причина может быть устранена путем адекватного моделирования средств РЗ с учетом их аппаратной реализации и измерительных трансформаторов. Разработка достаточно детальных моделей используемых в настоящее время устройств РЗ и их совместное использование с существующими комплексами моделирования ЭЭС, в частности ВМК РВ ЭЭС [2], позволяет получить необходимый инструмент для анализа функционирования РЗ в условиях максимально приближенных к реальным, что позволит повысить точность настройки существующих средств РЗ. Устранение первых двух причин позволит перейти к решению третьей.

Решение обозначенной задачи адекватного моделирования средств РЗ предполагает разработку соответствующих математических моделей, что в свою очередь требует создания определенной базы данных математических моделей существующих видов РЗ. Для этого выполняется исследование общих принципов построения их измерительных органов (ИО) на примере дистанционных защит (ДЗ), широко применяемых для защиты линий высокого и сверхвысокого напряжения в сетях сложной конфигурации, защиты оборудования подстанций и станций ЭЭС [4].

Для реализации поставленной задачи в работе выполнено определение общих принципов построения ИО ДЗ следующих типов исполнения [5,6,7,8,9].

Основным элементом ДЗ, не зависимо от типа реализации, является реле сопротивления (РС), выполняющее роль ИО и определяющего дистанцию от места КЗ до места установки защиты.

На рисунке 1 приведена функциональная схема РС в общем виде

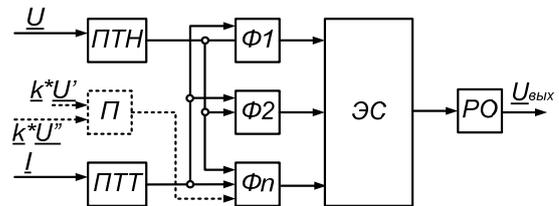


Рисунок 1 – Функциональная схема РС в общем виде

Измеряемыми величинами РС являются токи (I) и напряжения (U), подводимые к защите от измерительных трансформаторов через промежуточные трансформаторы тока и напряжения (ПТТ и ПТН). Их выходными величинами, используемыми в ИО ДЗ, как правило, являются сигналы, пропорциональные разности фазных токов: $I_a - I_b$, $I_b - I_c$, $I_c - I_a$ – и соответствующим междуфазным напряжениям: U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , также возможны варианты включения ИО на фазные напряжения и токи, и их симметричные составляющие через соответствующие фильтры симметричных составляющих [7,9]. В защитах, выполненных на микроэлектронной и микропроцессорной базе, выходной сигнал с ПТТ и ПТН, как правило, также фильтруется по частоте.

Выходные сигналы ПТТ и ПТН подаются на элементы формирования сравниваемых величин (Φ), в которых, согласно приведенной схеме, для каждой ступени формируется n сравниваемых величин, числом которых определяется вид характеристики срабатывания соответствующего РС.

Математическое описание формирования сравниваемых величин в элементах $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ в общем виде представлено системой

$$\begin{aligned} \underline{E}_1 &= k_{11} \underline{U} + k_{12} \underline{I} = k_{11} \underline{I} (\underline{Z} - \underline{Z}_1), \underline{Z}_1 = -\frac{k_{12}}{k_{11}}; \\ \underline{E}_2 &= k_{21} \underline{U} + k_{22} \underline{I} = k_{21} \underline{I} (\underline{Z} - \underline{Z}_2), \underline{Z}_2 = -\frac{k_{22}}{k_{21}}; \\ &\dots\dots\dots; \\ \underline{E}_n &= k_{n1} \underline{U} + k_{n2} \underline{I} = k_{n1} \underline{I} (\underline{Z} - \underline{Z}_n), \underline{Z}_n = -\frac{k_{n2}}{k_{n1}}; \end{aligned}$$

где \underline{U} – измеряемое напряжение, В;
 \underline{I} – измеряемый ток, А;

$E1, E2, \dots, En$ – формируемые сравниваемые величины, В;

Z – сопротивление защищаемого объекта, Ом;

$Z1, Z2, Zn$ – значения сопротивлений в особых точках характеристики срабатывания РС на комплексной плоскости, Ом;

$k11$ – коэффициент передачи по цепям напряжения;

$k12, k22 \dots kn2$ – комплексные коэффициенты по цепям тока для формирования особых точек

$Z1, Z2, Zn$.

Под особыми точками понимаются координаты точек на комплексной плоскости, задающие вид характеристики срабатывания РС.

Согласно представленным выражениям формируемые величины $E1, E2, \dots, En$ являются функциями тока и напряжения. В данных выражениях при помощи коэффициентов $k11$ и $k12, k22 \dots kn2$ задаются размеры и вид характеристики срабатывания РС на комплексной плоскости для уставки соответствующей ступени. Данное математическое описание справедливо для всех рассмотренных типов ДЗ и может быть принято за основу построения математической модели функционирования элементов Ф1, Ф2, ..., Фn.

Сформированные таким образом величины $E1, E2, \dots, En$ поступают в элемент сравнения (ЭС), где реализуется их сравнение по абсолютным значениям или по фазе в зависимости от типа реализации РС. В РС, выполненных на электромеханической элементной в основном применяется первый вариант, а в РС на микроэлектронной и микропроцессорной элементных базах – второй вариант сравнения величин.

С выхода ЭС сигнал подается в реагирующий орган (РО), где выполняется его сравнение с заданной величиной.

В результате анализа описанных принципов функционирования ИО определено, что общими элементами для большинства типов ДЗ выполненных на электромеханической и микроэлектронной элементной базе являются промежуточные трансформаторы тока и напряжения, элементы формирования сравниваемых величин, элемент сравнения и реагирующий орган. Для микропроцессорных ДЗ также характерно использование промежуточных трансформаторов тока и напряжения,

функции остальных элементов в защитах данного типа обычно реализованы на программном уровне.

Представленный анализ принципов построения ИО ДЗ позволяет сформировать алгоритм построения универсальных математических моделей соответствующих видов РЗ, в данном случае ДЗ, с учетом их аппаратных реализаций и измерительных трансформаторов.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Н. И. Воропай, В. В. Ершевич, Я. Н. Лугинский и др. Управление мощными энергообъединениями. Под ред. С. А. Савалова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 256 с.
2. Гусев А.С., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Многопроцессорная программно-техническая система реального времени гибридного типа для всережимного моделирования энергосистем // Технологии управления режимами энергосистем XXI века: Сб. докладов Всеросс. науч.-практич. конф.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - С.125-131.
3. Нудельман Г.С., Онисова О.А., Наволочный А.А. Подготовка методической базы цифровых моделей реального времени для целей релейной защиты. //Электротехника. – 2011г – с.40-46
4. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., с изм. и доп. – Новосибирск: Сибирское унив. изд-во, 2005г. – 511с.
5. Савостьянов А.И. Дистанционные защиты ПЗ-157, ПЗ-158, ПЗ-159. – М.: «Энергия», 1973. – 96с. ил.
6. Фокин Г.Г. и Хомяков М.Н. Панели дистанционных защит ПЗ-2/1 и ПЗ-2/2. – М.: «Энергия», 1975. – 112с. ил.
7. А.Н. Бриг, Г.С Нудельман, Э.К. Федоров, и др. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ2802 – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 144 с. ил.
8. Федоров Э.К., Шнеерсон Э.М. Панель дистанционной защиты ПДЭ-2001 (ДЗ-751) – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 96 с. ил.
9. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с. ил.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ САЯНО-ШУШЕНСКОГО ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА

Дегенгард В.В.

Научный руководитель: Толстихина Л.В., к.т.н., доцент
Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

E-mail: xakvr@mail.ru

Энергетический сектор обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей национального хозяйства. Эффективность производства электроэнергии зависит от многих составляющих, одной из которых являются потери при передаче электроэнергии. Снижение этих потерь позволяет более эффективно использовать генерируемую электроэнергию. Также энергетическая система (ЭС) должна обладать надежностью. Надежность характеризуется статической и динамической устойчивостью узлов ЭС.

Саяно-Шушенская гидроэлектростанция представляет собой электроэнергетический узел установленной мощности 6400 МВт. Связь с энергосистемой осуществляется с помощью четырех воздушные линии электропередачи напряжением 500 кВ.

Пиковая мощность, выдаваемая в энергосистему, ограничена пропускной способностью линий.

Целью работы является поиск множества оптимальных решений и построение компромиссной области для доминирующих критериев:

$$\begin{cases} \Delta P \rightarrow \min; \\ R \rightarrow \max, \end{cases} \quad (1)$$

где ΔP – суммарные потери активной мощности в линиях; R – запас статической аperiodической устойчивости системы.

Схема Саяно-Шушенского электроэнергетического узла (рисунок 1):

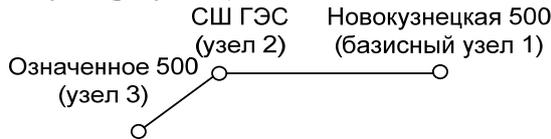


Рис. 1. Схема Саяно-Шушенского электроэнергетического узла

Суммарные потери активной мощности равны разнице генерирующих и потребляющих мощностей:

$$\sum \Delta P = \sum P_G - \sum P_{\Pi},$$

где $\sum P_G$ – сумма активных генерирующих мощностей; $\sum P_{\Pi}$ – активная нагрузка в узле.

Мощности в узлах определяются из баланса [1]:

$$P_k - U_k^2 g_{kk} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n+1} [(U_{ak} U_{ai} + U_{rk} U_{ri}) g_{ki} + (U_{ak} U_{ri} - U_{rk} U_{ai}) b_{ki}] = 0,$$

где P_k – активная мощность, генерируемая узлом; U_k – модуль напряжения в узле; g_{kk} – собственная активная проводимость узла; U_{ak}, U_{rk} – вещественная и мнимая составляющие напряжения узла; g_{ki}, b_{ki} – взаимные активная и реактивная проводимости узлов.

Запас статической аperiodической устойчивости оценивается кратчайшим расстоянием от рабочей точки до границы предельного режима и является радиусом окружности:

$$R = \sqrt{(P_{2\max} - P_2)^2 + (P_{3\max} - P_3)^2},$$

где $P_{2\max}, P_{3\max}$ – мощности узлов в предельном режиме [2].

В качестве независимых переменных приняты напряжения в узлах.

Для построения области компромиссных решений используем метод сопряженных градиентов:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial F_2}{\partial x}. \quad (2)$$

Для выбранных критериев (1), по которым ведется оптимизация режима, уравнение (2) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a2}} = -\lambda \frac{\partial R}{\partial U_{a2}}; \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{r2}} = -\lambda \frac{\partial R}{\partial U_{r2}}; \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a3}} = -\lambda \frac{\partial R}{\partial U_{a3}}; \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{r3}} = -\lambda \frac{\partial R}{\partial U_{r3}}, \end{cases} \quad (3)$$

где λ – коэффициент пропорциональности.

Выражаем коэффициент λ например из первого уравнений системы (3):

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{r2}} - \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a2}} \cdot \frac{\partial R}{\partial U_{r2}} = 0; \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a3}} - \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a2}} \cdot \frac{\partial R}{\partial U_{a3}} = 0; \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{r3}} - \frac{\partial \Delta P}{\partial U_{a2}} \cdot \frac{\partial R}{\partial U_{r3}} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Система уравнений (4) решается градиентным методом.

Пример.

Сопротивление линии 1-2 и 2-3:

$$Z_{1-2} = R_{1-2} + jX_{1-2} = 8,37 + j71,68 \text{ Ом.}$$

$$Z_{2-3} = R_{2-3} + jX_{2-3} = 0,34 + j4,68 \text{ Ом.}$$

Элементы матрицы проводимости:

$$Y = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_{1-2}} & -\frac{1}{Z_{1-2}} & 0 \\ -\frac{1}{Z_{1-2}} & \frac{1}{Z_{1-2}} + \frac{1}{Z_{2-3}} & -\frac{1}{Z_{2-3}} \\ 0 & -\frac{1}{Z_{2-3}} & \frac{1}{Z_{2-3}} \end{pmatrix};$$

$$Y_{1,1} = 1,610 - j13,776 \text{ мСм};$$

$$Y_{1,2} = -1,610 + j13,776 \text{ мСм};$$

$$Y_{1,3} = 0 \text{ мСм};$$

$$Y_{2,1} = -1,610 + j13,776 \text{ мСм};$$

$$Y_{2,2} = 17,052 - j226,329 \text{ мСм};$$

$$Y_{2,3} = -15,442 + j212,533 \text{ мСм};$$

$$Y_{3,1} = 0 \text{ мСм};$$

$$Y_{3,2} = -15,442 + j212,533 \text{ мСм};$$

$$Y_{3,3} = 15,442 - j212,533 \text{ мСм.}$$

Напряжение в базисном узле принято 500кВ.

Мощности на границе предельного режима:

$$P_{2\max} = 3796,1 \text{ МВт}; P_{3\max} = 354,4 \text{ МВт.}$$

Результаты расчета представлены в таблице 1.

На рисунке 2 представлена область оптимальных решений.

Для определения области физически реализуемого режима накладываем ограничения в виде неравенства:

$$0,95U_H \leq U \leq 1,05U_H$$

Границами физически реализуемого участка являются точки а и b, имеющие координаты, представленные в таблице 2.

Таблица 1. Решения компромиссной области

U_{a2}	ΔP	R
440	-356,331	3978,006
455	-376,405	3988,244
475	-393,089	3996,594
490	-299,267	3951,745

500	0	3812,607
502	1846,009	3118,938
506	3410,845	2877,694
515	6018,869	3308,31
525	8200,094	4257,191
550	13303,54	7167,343
570	16285,82	9131,275
600	20637,98	12089,56

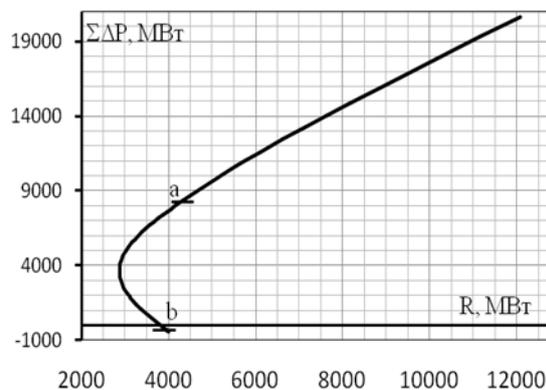


Рис. 2. Область оптимальных решений

Таблица 2. Граничные значения

ΔP	R
Нижняя граница точка b	
-393,089	3996,594
Верхняя граница точка a	
8200,094	4257,191

Выводы:

1. Создана математическая модель, описывающая область оптимальных режимов для Саяно-Шушенского электроэнергетического узла.
2. Построена область компромиссных решений.

Список используемых источников:

1. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях : Учеб. Пособие для вузов/Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, В.В. Ежков и др., Под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с., ил.
2. Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. Т.1. 423 с., с. 68 – 73.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТОКА В МНОГОМОДУЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Дементьев Д. Ф.

Научный руководитель: Казанцев Ю.М., д.т.н., профессор.
Открытое акционерное общество «Научно-производственный центр «Полус»,
634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»
E-mail: POLUS@ONLINE.TOMSK.NET

Рост количества задач, решаемых автономными объектами, приводит к увеличению числа потребителей электроэнергии и, как следствие, возрастанию мощности системы электропитания (СЭП). Повышение мощности осуществляется параллельным соединением силовых модулей (СМ) преобразователей. Также параллельным включением обеспечивается резервирование, а значит, и повышение надежности системы. Целесообразно осуществлять многофазный режим работы преобразователя, при котором силовые ключи группы параллельных СМ коммутируются с взаимным временным сдвигом, равным T/N , где T – период следования импульсов, N – число СМ. Многофазные преобразователи обеспечивают снижение уровня пульсаций входных и выходных напряжений и токов СЭП, распределение теплового рассеяния, снижение уровня радиопомех. Кроме того, при равномерном распределении тока в N раз повышается эффективная частота регулирования.

Основной задачей при параллельном соединении нескольких СМ является обеспечение равномерного распределения тока нагрузки между ними. Вызвано это тем, что от равномерности распределения преобразуемой энергии напрямую зависит обеспечение вышеперечисленных достоинств параллельного соединения модулей. Особенно актуально это в случае изменения уровня тока нагрузки в широком диапазоне.

Все методы, обеспечивающие распределение тока нагрузки между СМ, соединенными параллельно, можно разделить на две группы: пассивные и активные.

Пассивное распределение тока осуществляется за счет выходного импеданса каждого СМ: с ростом выходного тока выходное напряжение перегруженного модуля немного снижается. Таким образом устанавливается рабочая точка при параллельном соединении модулей. Равномерность распределения тока зависит и от того, насколько близки значения их выходного напряжения.

При активном токораспределении каждый модуль имеет дополнительный контур токораспределения, который на основе измерения выходного тока одного и/или всех СМ, составляющих преобразователь, формирует опорный сигнал для основной системы управления каждого модуля.

Преимущества активного токораспределения относительно пассивного – более точное разделение тока нагрузки между параллельными модулями и большая эффективность преобразования электроэнергии, вызванная отсутствием необхо-

димости повышения значения выходного импеданса.

Выходной импеданс преобразователей является важным техническим параметром, который влияет на внутрисистемную электромагнитную совместимость автономных объектов. Для устойчивой системы модуль входного импеданса нагрузки должен быть больше модуля выходного импеданса регулируемой шины СЭП во всем диапазоне частот. Необходимость снижения значения модуля выходного импеданса СЭП обусловлена увеличением как суммарной мощности потребления, так и числа потребителей со вторичными источниками питания. Следовательно, достоинством многофазных преобразователей постоянного тока с равномерным распределением тока нагрузки также является снижение выходного импеданса пропорционально количеству фаз силовых модулей в широком диапазоне частот [1].

Предложен способ управления с прогнозированием тока дросселя для многофазных преобразователей, обеспечивающий равномерное распределение тока нагрузки между силовыми модулями. Данный способ основан на широтно-импульсной модуляции с линейной комбинацией в сигнале развертки Y_{pj} расчетного значения пульсирующей составляющей тока дросселя на интервале до коммутации ключевого элемента

$$\tilde{i}_{L_j} = \frac{U_{пj} - U_{выхj}}{L_j T} t_{pj},$$

и ее прогнозируемого значения на интервале после коммутации ключевого элемента

$$\tilde{i}_{L_j} = U_{выхj} \left(1 - \frac{t_{pj}}{L_j T} \right),$$

где $U_{пj}$ – напряжение на входе j -го модуля; $j = 1, \dots, N$ – индекс соответствия с номером модуля; $U_{выхj}$ – выходной сигнал j -го модуля; L_j – индуктивность дросселя j -го модуля; T – длительность периода синхронизации; t_{pj} – сигнал синхронизации j -го модуля.

Закон управления реализуется уравнением

$$F_j = x_j + k_{cj} (i_{Lcpj} - i_n / N) + k_{cj} Y_{pj}, \quad (1)$$

где x_j – сигнал ошибки j -го модуля; $k_{cj} = 1/L_j$; i_{Lcpj} – среднее на интервале синхронизации зна-

чение тока дросселя j -го модуля; i_n – ток нагрузки; N – количество параллельно работающих модулей.

При этом сигнал развертки

$$Y_{p_j} = U_{п_j} \frac{t_{p_j}}{T} - U_{вых_j}$$

и состояние ключевого элемента

$$VT_j = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 < t_{p_j} < t_{к_j}; \\ 0 & \text{при } t_{к_j} < t_{p_j} < T, \end{cases}$$

где $VT_j=1$ – ключевой элемент включен; $VT_j=0$ – ключевой элемент выключен; $t_{к_j}$ – моменты выключения ключа j -го модуля, определяемые наименьшим положительным корнем уравнения $F(t) = 0$.

В уравнении закона (1) в качестве тока нагрузки СМ используется ток i_n / N , соответствующий идеальному распределению тока нагрузки. Отклонение i_{Lcp_j} от i_n / N является корректирующим сигналом в контуре токораспределения.

Для анализа качества работы системы управления токораспределением разработана модель многомодульного преобразователя напряжения с системой токораспределения в среде OrCAD.

На рис. 1 и 2 отображены токи и напряжения многомодульного трехфазного преобразователя в установившемся режиме и при ступенчатом изменении тока нагрузки: уровень стабилизируемого напряжения 100 В; нижний и верхний уровни тока нагрузки 12 и 21 А соответственно; время установления выходного напряжения 60 мкс; отклонение напряжения не более 400 мВ.

Результаты исследования системы управления токораспределением силовых модулей показывают, что построение многофазных импульсных преобразователей на основе предлагаемого закона управления обеспечивает равномерность распределения тока не только в установившемся режиме, но и при динамическом изменении нагрузки.

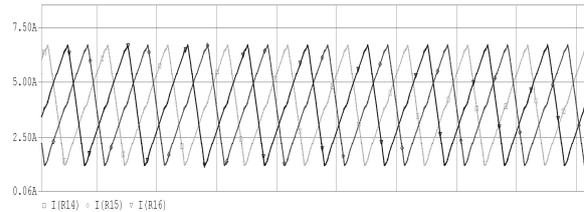


Рис. 1. Токи дросселей трехфазного преобразователя напряжения

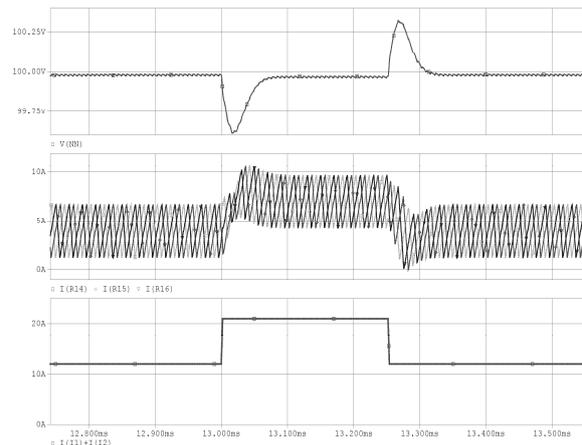


Рис. 2. Результаты исследования трехфазного преобразователя напряжения при переходном процессе. Сверху вниз: выходное напряжение преобразователя, токи дросселей силовых модулей, ток нагрузки.

Список литературы

1. Дементьев Д.Ф. Исследование активной системы равномерного токораспределения в многомодульных преобразователях // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем: материалы науч.-техн. конф. Красноярск: Изд. дом «Класс Плюс», 2011. С. 99 – 101.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАКТИВНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ

Диёров Р.Х., Глазырин М.В.

Научный руководитель: Глазырин М.В., доцент, к.т.н.
Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: diyorov@mail.ru

Малые ГЭС (МГЭС) мощностью от 100 до 3000 кВт являются одним из основных источников электроэнергии для потребителей, расположенных в горной местности и прилегающих районах. Характерный пример – Норвегия.

Развитие малой гидроэнергетики актуально, в частности, для горного Алтая и Таджикистана. Предварительные исследования показывают [1], что в горных районах Таджикистана технически возможно и экономически целесообразно строительство более 900 МГЭС с мощностями гидроагрегатов от 100 до 3000 кВт.

Действующие МГЭС, как правило, не имеют дежурного персонала. При отсутствии средств автоматического регулирования генерируемой активной мощности (P_r) воздействие на направляющие аппараты гидротурбин производится вручную во время текущего осмотра оборудования МГЭС. Баланс между генерируемой и потребляемой активными мощностями обеспечивается путём “выбрасывания” излишне вырабатываемой электроэнергии на реостаты; уровень воды в верхнем бьефе ограничивается использованием холостого водосброса. При более

интенсивном использовании гидроэнергоресурсов автоматическое регулирование P_r осуществляют посредством гидромеханических блокировок и гидроприводов, действие которых обеспечивается наличием маслонапорной установки. Перечисленное оборудование имеет высокую стоимость и требует квалифицированного обслуживания.

Для МГЭС на основе реактивных гидротурбин [2] перспективным способом повышения эффективности МГЭС является применение генераторного комплекса, обеспечивающего плавное регулирование скорости вращения гидротурбины [3]. Генератор представляет собой асинхронную машину с фазным ротором (АМ), статор которой подключен к сети (рис. 1), а ротор получает питание от полупроводникового преобразователя частоты (ПЧ). Изменяя частоту питания ротора, можно регулировать скорость вращения вала генератора [4] при его синхронной работе с прилегающей системой. Это позволяет регулировать мощность, отдаваемую в сеть.

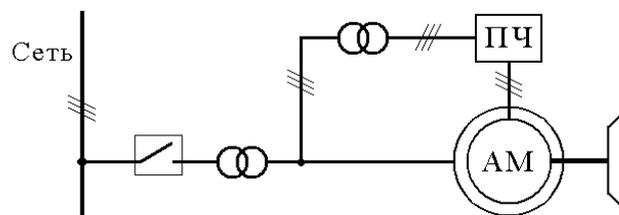


Рис. 1. Силовая схема генераторного комплекса

При неизменном притоке воды в водохранилище меньшим значениям скорости вращения гидротурбины соответствуют меньшее значение мощности P_r и запасание воды; большим – большее значение P_r и понижение уровня в водохранилище. Такая МГЭС может автоматически оперативно изменять выработку электроэнергии, поддерживая баланс между генерируемой и потребляемой активными мощностями, и использовать аккумулирующую способность водохранилища для покрытия пиков графика электрической нагрузки.

Цель регулирования скорости вращения гидроагрегата (ГА) в основном режиме – поддержание максимального значения напора МГЭС, но

без холостого водосброса. Во время текущего обслуживания оборудования устанавливать направляющий аппарат следует в положение, соответствующее максимальному значению напора при расходе воды через турбину, равном притоку в водохранилище. МГЭС должна быть спроектирована таким образом, чтобы в данном режиме работы иметь наивысший КПД при скорости вращения ГА, близкой к синхронной. Тогда МГЭС будет способна оперативно обрабатывать внеплановое задание по P_r как в сторону “больше”, так и в – “меньше”.

Управляющим воздействием на ГА в таких МГЭС является электромагнитный момент генератора (M_g).

Линеаризованная динамическая модель ГА (рис. 2) получена при допущении, что электромагнитные процессы в генераторном комплексе

на основе машины двойного питания [4] протекают в десять и более раз быстрее гидромеханических.

С помощью упрощающих преобразований структурной схемы рис.2, найдена передаточная функция,

$$W_{\omega}(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta M_{\omega}(p)} = -\frac{k_{ГА}}{T_{ГА} p + 1}, \quad (1)$$

где $\Delta\omega(p)$, $\Delta M_{\omega}(p)$ – отклонения ω и M_{ω} от их значений в точке линеаризации – ω^0 и M_{ω}^0 ;

$$k_{ГА} = \frac{k_x k_{НЭ1} k_H + k_{НЭ2}}{k_{НЭ1} k_{НЭ2}}; \quad T_{ГА} = \frac{1}{k_{НЭ2} k_{НВ}} + k_{ГА} J_{\Sigma}.$$

Динамические свойства канала прямого распространения сигнала системы автоматического

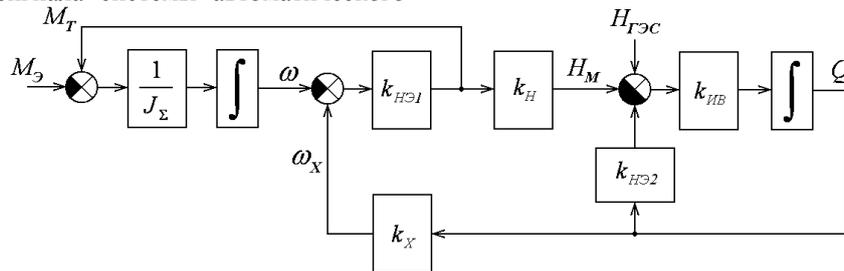


Рис. 2. Детализированная структурная схема динамической модели ГА:

M_T – движущий момент турбины; J_{Σ} – момент инерции ГА; ω – угловая скорость ГА; ω_x – угловая скорость ГА при нулевом значении M_{ω} и фиксированном значении расхода воды через турбину, Q ; $H_{ГЭС}$ – разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах; H_M – противонапор, создаваемый рабочим колесом гидротурбины; k_H , k_x , $k_{НВ}$ – экспериментальные постоянные; k_{HE1} , k_{HE2} – коэффициенты, получаемые в результате линеаризации экспериментальных характеристик гидротурбины в окрестности рабочей точки.

Синтез САР P_r требует учёта передаточной функции, характеризующей зависимость P_r от ω в переходных режимах,

$$W_r(p) = \frac{\Delta P_r(p)}{\Delta\omega(p)} = \eta_{\omega} k_r (1 - T_r p), \quad (2)$$

где $\Delta P_r(p)$ – отклонение P_r от её значения в точке линеаризации; $k_r = M_{\omega}^0 - \omega^0 / k_{ГА}$; $T_r = \frac{\omega^0 T_{ГА}}{k_r k_{ГА}}$.

Динамические свойства канала прямого распространения сигнала САР P_r , описываемые передаточной функцией (2), принципиально ограничивают быстродействие САР P_r , поскольку пере-

регулирования (САР) скорости ω , описываемые передаточной функцией (1), не налагают принципиальных ограничений на построение быстродействующей САР ω . Данная САР необходима для ограничения значений скорости ω в переходных и установившихся режимах. Задающее воздействие на САР ω должен формировать регулятор P_r .

Генерируемая активная мощность,

$$P_r = \eta_{\omega} M_{\omega} \omega,$$

где η_{ω} – КПД генератора без учёта механических потерь в нём.

дательная функция (2) представляет собой неминимально-фазовое звено.

Список литературы

1. Сайт Таджикско - Норвежского Центра по развитию малой энергетики: <http://www.tajhydro.tj/>.
2. Справочник конструктора гидротурбин / Л.Я. Бронштейн, А.Н. Герман, В.Е. Гольдин и др.- Л.: Машиностроение, 1971.- 304 с.
3. С. Farrell, J. Gulliver, "Hydromechanics of Variable Speed Turbines", J. Energy Engrg., ASCE, 113(1), pp.1-13, May 1987.
4. Хватов О.С. Управляемые генераторные комплексы на основе машины двойного питания: Монография / Нижегород. гос. техн. ун-т. Н.Новгород, 2000.- 204 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Думчев А.И.

Научный руководитель: Чернышѐва Т. Ю., к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
Россия, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, д.26
E-mail: dumchev_alex@mail.ru

В понятие возобновляемые источники энергии (ВИЭ) включаются следующие формы энергии: солнечная, геотермальная, ветровая, энергия морских волн, течений, приливов и океана, энергия биомассы, гидроэнергия, низко потенциальная тепловая энергия и другие "новые" виды возобновляемой энергии [1].

Принято условно разделять ВИЭ на две группы:

1) традиционные: гидравлическая энергия, преобразуемая в используемый вид энергии ГЭС мощностью более 30 МВт; энергия биомассы, используемая для получения тепла традиционными способами сжигания (дрова, торф и некоторые другие виды печного топлива); геотермальная энергия;

2) нетрадиционные: солнечная, ветровая, энергия морских волн, течений, приливов и океана, гидравлическая энергия, преобразуемая в используемый вид энергии малыми и микро ГЭС, энергия биомассы, не используемая для получения тепла традиционными методами, низко потенциальная тепловая энергия и другие "новые" виды возобновляемой энергии.

Перспективы возобновляемой энергетики

В последние годы тенденция роста использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится достаточно явной. Проблемы развития ВИЭ обсуждаются на самом высоком уровне. Так на встрече на высшем уровне на Окинаве (июнь 2000) главы восьми государств, в том числе Президент России В. В. Путин, обсудили глобальные проблемы развития мирового сообщества и среди них проблему роли и места возобновляемых источников энергии. Было принято решение образовать рабочую группу для выработки рекомендаций по значительному развѐртыванию рынков возобновляемой энергетики. Практически во всех развитых странах формируются и реализуются программы развития ВИЭ.

Чем же вызван такой интерес к этой проблеме?

Говоря об этой тенденции, следует выделить один принципиально новый момент. До последнего времени в развитии энергетики прослеживалась четкая закономерность: развитие получали те направления энергетики, которые обеспечивали достаточно быстрый прямой экономический эффект. Связанные с этими направлениями социальные и экологические последствия рассматривались лишь как сопутствующие, и их роль в принятии решений была незначительной.

При таком подходе ВИЭ рассматривались лишь как энергоресурсы будущего, когда будут исчерпаны традиционные источники энергии или когда их добыча станет чрезвычайно дорогой и трудоемкой. Так как это будущее представлялось достаточно отдаленным (да и сейчас говорить серьезно об истощении потенциала традиционных энергоресурсов можно лишь с большой натяжкой), то использование ВИЭ представлялось достаточно интересной, но в современных условиях скорее экзотической, чем практической, задачей.

Ситуацию резко изменило осознание человечеством экологических пределов роста. Быстрый экспоненциальный рост негативных антропогенных воздействий на окружающую среду ведет к существенному ухудшению среды обитания человека. Поддержание этой среды в нормальном состоянии и возможность ее к самосохранению, становится одной из приоритетных целей жизнедеятельности общества. В этих условиях прежние, только узко экономические оценки различных направлений техники, технологии, хозяйствования, становятся явно недостаточными, ибо они не учитывают социальные и экологические аспекты [2].

Импульсом для интенсивного развития ВИЭ впервые стали не перспективные экономические выкладки, а общественный нажим, основанный на экологических требованиях. Мнение о том, что использование ВИЭ существенно улучшит экологическую обстановку в мире, - вот основа этого нажима.

Экономический потенциал возобновляемых источников энергии в мире в настоящее время оценивается в 20 млрд. т.у.т. в год, что в два раза превышает объем годовой добычи всех видов ископаемого топлива. И это обстоятельство указывает путь развития энергетики ближайшего будущего.

Основное преимущество возобновляемых источников энергии - неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический баланс планеты. Эти качества и послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и весьма оптимистических прогнозов их развития в ближайшем десятилетии.

По оценке Американского общества инженеров-электриков, если в 1980 г. доля производимой электроэнергии на ВИЭ в мире составляла 1%, то к 2005 г. она достигнет 5%, к 2020 - 13% и к 2060 г. - 33%. По данным Министерства энергетики США, в этой стране к 2020 г. объем производства электроэнергии на базе ВИЭ может возрасти с 11 до

22%. В странах Европейского Союза планируется увеличение доли использования для производства тепловой и электрической энергии с 6% (1996) до 12% (2010). Исходная ситуация в странах ЕС различна. И если в Дании доля использования ВИЭ в 2000 г. достигла 10%, то Нидерланды планируют увеличить долю ВИЭ с 3% в 2000 г. до 10% в 2020 г. Основным результатом в общей картине определяет Германия, в которой планируется увеличить долю ВИЭ с 5,9% в 2000 г. до 12% в 2010 г. в основном за счет энергии ветра, солнца и биомассы [3].

Можно выделить пять основных причин, обусловивших развитие ВИЭ:

- обеспечение энергетической безопасности;
- сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- завоевание мировых рынков ВИЭ, особенно в развивающихся странах;
- сохранение запасов собственных энерго-ресурсов для будущих поколений;
- увеличение потребления сырья для не-энергетического использования топлива.

Электрическая мощность электростанций на возобновляемых источниках энергии (без крупных ГЭС) составит 380-390 ГВт, что превышает мощность всех электростанций России (215 ГВт) в 1,8 раза.

На территории России сосредоточено 45% мировых запасов природного газа, 13% - нефти, 23% - угля, 14% - урана. Такие запасы топливно-энергетических ресурсов могут обеспечить потребности страны в тепловой и электрической энергии в течение сотен лет. Однако фактическое их использование обусловлено существенными трудностями и опасностями, не обеспечивает потребности многих регионов в энергии, связано с безвозвратными потерями топливно-энергетических ресурсов (до 50%), угрожает экологической катастрофой в местах добычи и производства топливно-энергетических ресурсов. **Природа** может не выдержать такого испытания. Около 22-25 млн. человек проживают в районах автономного энергоснабжения или ненадежного централизованного энергоснабжения, занимающих более 70% территории России.

Экономический потенциал ВИЭ на территории России, выраженный в тоннах условного топлива (т.у.т.), составляет по видам источников: энергия Солнца - 12,5 млн., энергия ветра - 10 млн., тепло Земли - 115 млн., энергия биомассы - 35 млн., энергия малых рек - 65 млн., энергия низкопотен-

циальных источников тепла - 31,5,млн., всего - 270 млн. т.у.т/ [1].

Эти источники по объему составляют примерно 30% от объема потребления топливно-энергетических ресурсов в России, составляющего 916 млн. т.у.т. в год, что создает благоприятные перспективы решения энергетических, социальных и экологических проблем в будущем.

Особенностью современного состояния научно-технических разработок и практического использования ВИЭ является пока еще более высокая стоимость получаемой энергии (тепловой и электрической) по сравнению с энергией, получаемой на крупных традиционных электростанциях. Но актуальность данного вопроса не исчезает. В России имеются обширные районы, где по экономическим, экологическим и социальным условиям целесообразно приоритетное развитие возобновляемой энергетики, в том числе нетрадиционной и малой.

Во многом энергетическая безопасность формируется на региональном уровне. Степень обеспеченности регионов собственными топливно-энергетическими ресурсами является одним из основных показателей восприимчивости регионов к угрозам энергетической безопасности. Освоение и использование местных энергетических ресурсов (гидроэнергетика малых рек, торф, небольшие месторождения углеводородных топлив и др.), а также использование других, в первую очередь возобновляемых, энергетических ресурсов (солнечная, ветровая, геотермальная энергия, энергия биомассы) позволят многие регионы страны перевести на энергообеспечение за счет ВИЭ, обеспечив их энергетическую независимость.

В некоторых областях использования ВИЭ Россия имеет крупные научные результаты, соответствующие мировому уровню. Выявлены большие потенциальные возможности использования этих источников энергии в решении энергетических и экологических проблем уже в ближайшем будущем.

Литература

1. Лосюк Ю.А., Кузьмич В.В. Нетрадиционные источники энергии. – М.: Издательство Техно-принт, 2005.- 234с.
2. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии. – М.: Издательство МЭИ, 2011. – 272 с.
3. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: Издательство ДМК Пресс, 2011.- 143с.

ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ВОДЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРИРОДООХРАННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ

Дурандин С.И.

Научный руководитель: Смирнов О.В., д.т.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: merrow@inbox.ru

Перспективы применения электрообработки воды на современных очистных сооружениях с экономической и экологической точек зрения ограничиваются той частью водоподготовки, которая функционально связана со специальными требованиями технологий ее использования. Это касается как отдаленных селитебных объектов, территориально удаленных от центров в рамках обеспечения санитарно-гигиенической безопасности при освоении нефтегазовых залежей, так и малоотходных комплексов водопользования на тепловых электростанциях в энергетических системах.

Особое внимание уделяется методам и средствам автоматизации систем управления электротехнологическими процессами.

В связи с широким разбросом физико-химических характеристик воды в источниках водоснабжения возникают определенные трудности при эксплуатации автоматизированных процессов и аппаратов безреагентной ее очистки, не всегда обеспечивающих высокую вероятность их безотказной работы, в первую очередь, связанную с санитарно - гигиенической надежностью.

Надо отметить, что полная автоматизация электроочистки воды по вышеуказанной причине - неожиданной совокупности состава загрязнений может приводить к сбоям в управлении процессом.

Электроводоочистители могут быть использованы как устройства коллективного пользования, индивидуальные, технологические и снабжать питьевой водой жилые микрорайоны, многоквартирные дома, магазины и павильоны, школьные и дошкольные, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения, малые населенные пункты и заправки автоцистерн очищенной водой для доставки ее потребителю.

Теоретически идеальной конструкцией электроводоочистителей является разовая конструкция, то есть такая конструкция, которая после однократного применения больше не используется.

Электроочистка воды (рис. 1) основана на использовании метода электрохимической коагуляции [1, 2]. Разовым компонентом является процесс электрогенерирования коагулянта-сорбента, который после процесса выводится из установки. Возможна адаптация приборов к различным типам вод за счет подбора материалов анодных групп и автоматизации установки электрических режимов.

В автоматизированной системе есть достоинства и недостатки - отказ датчика или насоса требует, во-первых, идентификации, во-вторых, ремонта, замены или настройки соответствующего узла.

Устройство электрообработки воды снабжено автоматикой, которая выводит режим очистки на 5-7 ступеней, включая промывку, и изменение режимов при изменении качества воды. Дальнейшее развитие конструкции могло бы быть обеспечено оснащением ее микропроцессором, отслеживающим эффективность очистки и дающим разрешительный сигнал на открытие крана после полной очистки воды.

Инициализация процесса связана с закрытым положением всех электромагнитных клапанов при включении установки, возможным тестированием модуля центрального управления и необходимостью проверки сигнала синхро-импульса. Предусматривается возможность общения с управляющей ЭВМ с периодической передачей по последовательному порту данных о состоянии всех датчиков и текущей фазе. Достоверным считается результат при анализе датчиков по принципу "2^x из 3^x", который дали хотя бы два датчика. Все исполнительные механизмы, связанные с моторными кранами включаются активизацией одного из сигналов, если же в какой-то момент активны оба сигнала, то система переходит в состояние "Авария". Все исполнительные механизмы переключаются по спаду сигнала синхроимпульса.

Начинается технологический процесс с опроса датчиков, с помощью которого определяется состояние системы. Алгоритм работы установок различной производительности отличается временем длительности некоторых фаз. Процесс управления можно разбить на два параллельных подпроцесса: основной процесс – реализация функций установки водоочистки и фоновый процесс- контроль состояния системы, опрос датчиков и таймеров, индикация, посылка состояния системы по последовательному порту. Так как контроль опроса датчиков производится раз в секунду, по прерыванию таймера 1 сек будет запускаться фоновая программа, и, выполнив на данный момент необходимые действия, передаст управление основной программе.

Принципиальная схема установки показана на рисунке

1.

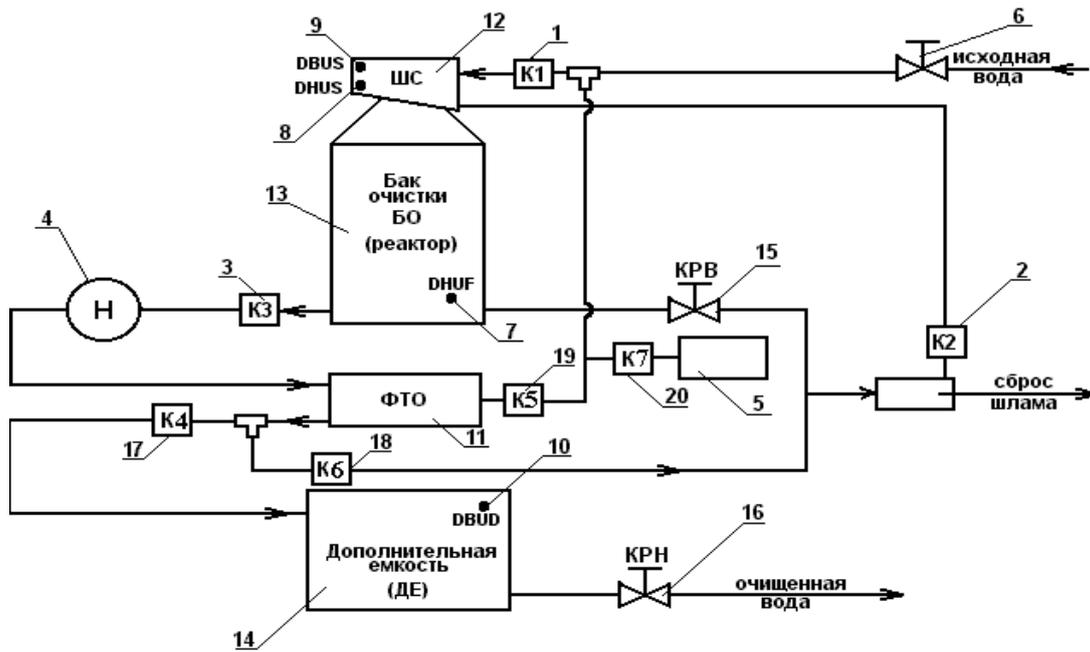


Рис. 1. Схема электроводоочистой установки

1 - клапан входа (K_1); 2 - клапан сброса (K_2); 3 - клапан выхода (K_3); 4 - насос (Н); 5 - баллон сжатого воздуха; 6 - кран ручной; 7 - датчик уровня воды в реакторе; 8, 9 - датчик уровня воды в шламосборнике; 10 - датчик уровня воды в дополнительной ёмкости; 11 - фильтр тонкой очистки (ФТО); 12 - шламосборник (ШС); 13 - реактор (БО); 14 - дополнительная ёмкость (ДЕ); 15 - кран ручной внутренний; 16 - кран ручной наружный; 17 - клапан выхода (K_4); 18 - клапан сброса (K_6); 19 - клапан промывки фильтра; 20 - клапан впуска сжатого воздуха (K_7)

Исходная водопроводная вода заливается в реактор 13 для обработки. После окончания очистки перекачивается через фильтр тонкой очистки 11 в дополнительную ёмкость. Одновременно может происходить долив воды в реактор (в зависимости от фазы). Разбор очищенной воды происходит через сливной кран 16. Выделившийся из воды продукт электро-химической обработки (шлам) удаляется в канализацию.

Отечественные локальные автоматизированные системы управления водоочистными станциями реализуют программное обеспечение контроллера AT90S8515 в циклическом режиме работы, включающем в себя несколько фаз - от набора исходной воды до слива, соответствующей нормативам. Эти фазы - промывка шламосборника и реактора - 1, налив воды и электрообработка - 2, электродекантация - 3, выравнивание потенциала - 4, слив концентрированной дисперсной фазы - 5, отбор очищенной питьевой воды - 6, слив остатков выделенной фазы - 7.

Технологическое преимущество водоочистителей, использующих для выделения примесей и токсинов внешние электрические поля, исключающие необходимость применения коагулянтов связано с минимальными массогабаритными характеристиками, а так же с профилактиче-

скими, лечебными и реабилитационными свойствами воды после электрообработки, обеспечивающими более высокую продолжительность жизни.

Ретроспектива электрообработки связана с использованием, в первую очередь, электрофизических и технологических установок высокого напряжения, электротехнологических установок и систем, технологий утилизации отходов электроэнергетической и электро-технической промышленности.

Целесообразно оснащение электроводоочистителей оптоэлектронной биотестовой системой контроля качества электрообработки воды, как обратной связи корректировки технологического процесса.

Исследования выполнены при финансовой поддержке департамента образования и науки Тюменской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смирнов О.В., Воробьева С.В., Смирнова В.О. Электроочистка газов и жидкостей. Под ред. докт. техн. наук Смирнова О.В.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – 241 с.
2. Воробьева С.В. Электроочистка питьевых и сточных вод: Учебное пособие.- Тюмень: Изд-во "Поиск", 2004. -144 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Егоров Д.Э.

Научный руководитель: Довгун В.П., д.т.н., профессор
Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий
660074, Россия, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского, 26
E-mail: denis.egorov.90@bk.ru

Одной из главных причин ухудшения качества электроэнергии в распределительных сетях является увеличение числа потребителей с нелинейными вольт-амперными характеристиками, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы. Такими потребителями являются импульсные источники питания, приводы электродвигателей с регулируемой скоростью вращения, осветительная нагрузка. Токи и напряжения несинусоидальной формы можно представить в виде суммы гармоник, частоты которых кратны основной частоте питающей сети.

Несинусоидальные напряжения и токи оказывают неблагоприятное влияние на эффективность работы электрооборудования, создавая дополнительные потери, сокращая срок службы изоляции, вызывая перегрузку нулевых проводников токами третьей гармоники. Если доля нелинейной нагрузки превышает 15-20%, необходима установка специальных фильтрокомпенсирующих устройств – пассивных и активных фильтров гармоник.

Пассивный фильтр гармоник (ПФГ) представляет частотно-селективную цепь, обеспечивающую подавление или ослабление высших гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой. Основными достоинствами пассивных фильтров являются их простота и экономичность. Они дешевы, не требуют регулярного обслуживания, могут осуществлять одновременно подавление гармоник и коррекцию коэффициента мощности. Благодаря своей простоте, экономичности и надежности пассивные фильтры гармоник являются самым распространенным видом фильтрокомпенсирующих устройств.

Существующие методы проектирования пассивных фильтров гармоник [1, 4, 5] заключаются в расчете параметров колебательных контуров, обеспечивающих подавление гармоник тока определенной частоты. Такие методы позволяют контролировать частотные характеристики только на частотах резонансов параллельных ветвей. Однако составной фильтр представляет сложную резонансную систему, в которой необходимо учитывать взаимное влияние ветвей фильтра и сопротивления питающей сети. Отдельные ветви фильтра образуют параллельные колебательные контуры с индуктивностью сети. Если частота параллельного резонанса совпадает с частотой одной из гармоник, амплитуда этой гармоники в сети может возрасти в несколько раз. Добавление каждого нового звена приводит возникновению еще одного параллельного колебательного контура. Таким образом, при проектировании пассивных фильтров

гармоник важно контролировать частоты параллельных резонансов системы фильтр – питающая сеть.

Широкое использование ПФГ в сетях с нелинейными нагрузками требует разработки специального программного обеспечения для автоматизированного проектирования таких устройств.

В докладе рассмотрены алгоритм и программа проектирования пассивных фильтров гармоник. Для расчета использован метод, основанный на представлении фильтра в виде реактивного четырехполюсника, нагруженного на сопротивление питающей сети [6]. Такой подход позволяет использовать при проектировании фильтра хорошо разработанные регулярные методы синтеза пассивных цепей. Устройство, спроектированное с помощью предлагаемого метода, выполняет одновременно функции компенсатора реактивной мощности основной гармоники и фильтра высших гармоник.

Блок-схема алгоритма проектирования ПФГ показана на рис. 1. Исходными данными для расчета являются напряжение сети, необходимая реактивная мощность ПФГ, частоты и действующие значения токов гармоник, частоты нулей и полюсов входного сопротивления фильтра $Z(s)$. Шаг 2 включает в себя формирование входного сопротивления $Z(s)$. На третьем шаге производится расчет частотных характеристик фильтра и определение коэффициентов искажения синусоидальности кривых тока и напряжения. На шаге 4 происходит проверка условия на удовлетворение расчетного коэффициента искажения требованиям ГОСТ 13109-97. Если требование не выполнено, то возвращаемся к Шагу 1. Если требования удовлетворены, то переходим к шагу 5.

На пятом шаге осуществляется синтез структуры фильтра, реализующего входное сопротивление $Z(s)$. Шаг 6: рассчитываются значения элементов фильтра и реактивная мощность звеньев.



Рис. 1. Алгоритм проектирования ПФГ

Рассмотренный алгоритм использован в программе проектирования пассивных фильтрокомпенсирующих устройств, написанной на языке программирования пакета MATLAB.

Программа включает модуль ввода исходных данных, расчетный модуль и модуль вывода результатов расчета.

Основной интерфейс программы показан на рис. 2. Он включает области для ввода исходных данных, а также графическое окно вывода частотной характеристики фильтра.

В дополнительном модуле производится вывод значений рассчитанных параметров фильтра, на основе которых производится рекомендация по выбору элементов фильтра (рис 3).

Разработанная программа использована для проектирования фильтрокомпенсирующих устройств, осуществляющих компенсацию реактивной мощности и подавление высших гармоник в электрических сетях с нелинейными нагрузками. Это позволяет значительно уменьшить потери мощности и напряжения, увеличить пропускную способность линии электропередачи.

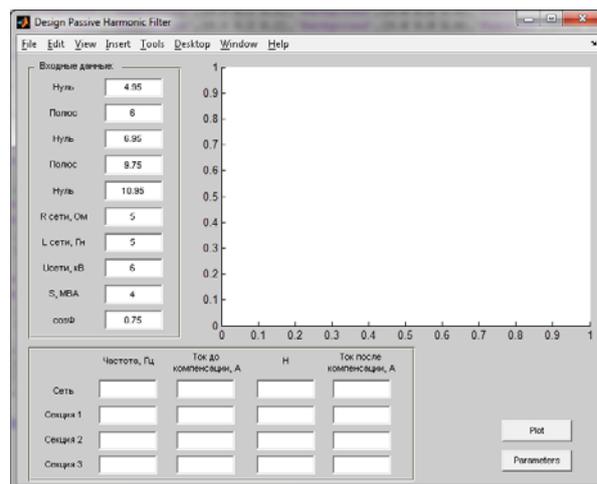


Рис 2. Основной интерфейс

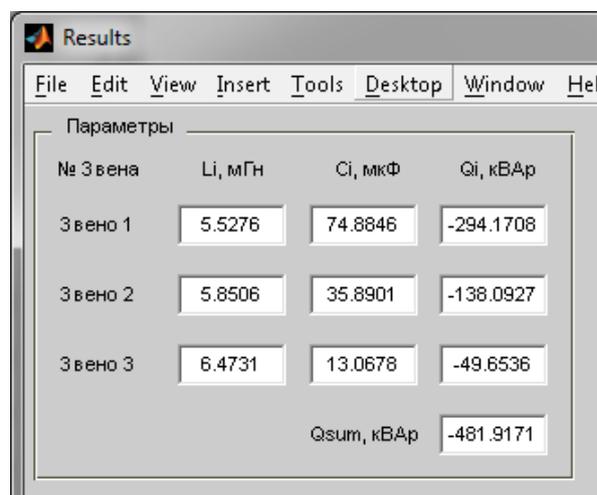


Рис 3. Интерфейс с рассчитанными значениями элементов фильтра

Литература

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., М., Энергоатомиздат, 1994.
2. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. М.: Додэка-XXI, – 336 с
3. Das J. Passive filters – potentialities and limitations. IEEE trans. on industry applications, Vol. 40, No. 1, January/February 2004, pp. 232-241.
4. Phipps J. A transfer function approach to harmonic filter design. IEEE industry application magazine, March/April 1997, pp. 68-82.
5. Lin K-P., Lin M-H., Lin T-P. An advanced computer code for single-tuned harmonic filter design. IEEE trans. on industry applications, Vol. 34, No. 4, 1998, pp. 640-648.
6. Довгун В. П., Боярская Н. П., Новиков В. В. Синтез пассивных фильтрокомпенсирующих устройств. Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2011, № 9-10, с. 31-39.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ГЭС С ВОДОХРАНИЛИЩАМИ МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Елсуков П. Ю.

Научный руководитель: Клер А. М., д.т.н., профессор
ИСЭМ СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130

E-mail: els@isem.sei.irk.ru

Введение. Для оптимизации длительных режимов работы ЭЭС, включающих ГЭС и ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования наибольшее распространение получили методы стохастического динамического программирования (СДП) и стохастического двойственного динамического программирования (СДДП)

Отличие методов состоит в том, что во втором случае условно-оптимальные затраты описываются с помощью кусочно-линейной функции что позволяет применять их к системам с числом водохранилищ равным нескольким десяткам, а СДП для числа водохранилищ не более 4-5.

Кроме методов СДП и СДДП для задач оптимизации длительных режимов ЭЭС применение нашел подход, основанный на сведении этих оптимизационных задач к задаче линейного и нелинейного математического программирования.

Во всех рассмотренных подходах при определении мощности электростанций вводится условие, что запасы воды в конце временного интервала для режимов с различной боковой приточностью, но одинаковыми запасами воды в начале интервала, должны быть одинаковыми. Это позволяет построить единственную оптимальную траекторию изменения запасов воды на протяжении расчетного периода

Но требование единственности оптимальной траектории снижает эффективность полученных решений. Поэтому целесообразно при оптимизации длительных режимов искать дерево таких траекторий.

Построение указанного дерева возможно с помощью метода предложенного в 70 отделе нашего института, однако он разработан для систем с ГЭС с водохранилищами сезонного регулирования. По этому методу запасы воды в водохранилищах ГЭС в начале и конце расчетного периода известны.

Целью работы является модификация этого метода для одноступенчатой оптимизации ЭЭС, включающей ТЭС и ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования.

При оптимизации длительных режимов ЭЭС, включающих ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования, продолжительность расчетного периода должна составлять несколько лет. При этом следует учесть случайный характер приточности воды в водохранилища ГЭС, а если ГЭС образуют каскад, то случайный характер «внешней» приточности воды в водохранилища каскада.

Каждой ветви дерева соответствует работа ЭЭС при определенном сочетании условий ее функционирования. Для описания работы ЭЭС при условиях, относящихся к одной ветви, требуется выполнить расчеты системы в нескольких режимах, хорошо отражающих все режимы работы системы. Такое дерево будет иметь вид (рис. 1.).

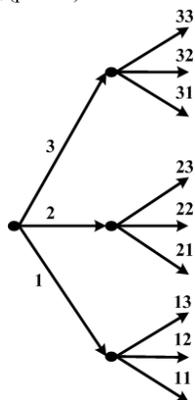


Рис 1. Дерево сочетаний внешних условий функционирования

1 - признак маловодного периода; 2 –средневодного периода; 3 – многоводного периода. Обозначение ветви дерева формируется как обозначение предыдущей ветви + признак приточности интервала, к которому относится ветвь.

Каждой ветви дерева соответствует работа ЭЭС при определенном сочетании условий ее функционирования.

Постановка задачи. Требуется минимизировать математическое ожидание дисконтированных суммарных топливных издержек за расчетный период. Запасы воды в водохранилищах ГЭС в начале расчетного периода задаются. Это задача I.

Для сопоставимости вариантов длительных режимов требуется чтобы запасы воды в водохранилищах соответствующей одной и той же конечной вершине дерева должны быть одинаковы (чтобы топливные затраты за пределами расчетного периода мало различались). Однако при оптимизации трудно соблюдать это условие, поэтому представляется, если достаточная сопоставимость вариантов будет обеспечена, если добиться одинаковых значений математических ожиданий запасов воды в каждом водохранилище в конце расчетного периода.

Для этого решается вспомогательная задача II, при следующих условиях: начало задачи совпадает с концом расчетного периода задачи I, а продолжительность расчетного периода и интервалов могут быть принятыми такими же как у задачи I; ищется мат ожидание суммарных топливных издержек при соблюдении условия равенства запасов воды в начале расчетного периода и их математических ожиданий в конце периода (условие стационарности); при отсутствии информации об изменении эл. нагрузок и состава оборудования целесообразно рассматривать работу системы с постоянными эл. нагрузками и составом оборудования соответствующим нагрузкам и составу на конец расчетного периода задачи I; в состав опт параметров задачи II включаются начальные запасы воды.

В результате находятся оптимальные запасы воды в начале расчетного периода задачи II, т.е в конце расчетного периода задачи I. Эти запасы и используются при решении задачи I.

$$\min_{x_{ji}^{onm}} \sum_{t=1}^T d_t \left\{ \sum_{j \in Q_t} \left[V_j \left(\sum_{i=1}^n u_{ji} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

при условиях

$$G_{ji} \left(x_{ji}^{onm}, W_{ji}^{ex}, S_{ji} \right) \geq 0, \quad (2)$$

$$W' \leq W_{ji}^{6bx} = \phi \left(x_{ji}^{onm}, W_{ji}^{ex}, S_{ji} \right) \leq W'' \quad (3)$$

$$u_{ji} = \phi \left(x_{ji}^{onm}, W_{ji}^{ex}, S_{ji} \right), \quad (4)$$

$$W_{jk+1}^{ex} = W_k^{6bx}, \quad (5)$$

$$W_{q_1}^{ex} = W_{j_n}^{6bx}, \forall q \in \psi_j, \quad (6)$$

$$W_{h_1}^{ex} = W^o, \forall h \in \psi_1, \quad (7)$$

$$V_q = V_j P_q, \forall q \in \psi_j, \quad (8)$$

$$\sum_{l \in Q_T} V_l W_{ln}^{6bx} = \tilde{W}_T, \quad (9)$$

$$x_{ji}^{onm} \leq x_{ji}^{onm} \leq x_{ji}^{onm}, \quad (10)$$

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, D; k = 1, \dots, n - 1;$$

Где d_t - индекс дисконтирования для t -ого временного интервала; V_j - вероятность реализации внешних условий, соответствующих j -ой ветви дерева условий; n - число представительных режимов, рассматриваемых в одном временном интервале; u_{ji} - топливные издержки энергосистемы в i -ом представительном режиме при сочетании внешних условий, соответствующих j -ой ветви дерева; T - число интервалов в расчетном периоде; Q_t - множество номеров ветвей дерева условий, относящихся к t -ому интервалу расчетного периода; G_{ji} - вектор ограничений-неравенств в i -ом представительном режиме, соответствующем j -ой ветви дерева условий; x_{ji}^{onm} - вектор оптимизируемых параметров в i -ом представительном режиме, соответствующем j -ой ветви дерева условий; W_{ji}^{6X} - вектор запасов воды в водохранилищах ГЭС в начале i -ого представительного режима, соответствующего j -ой ветви дерева условий; W_{ji}^{6blX} - то же в конце i -ого режима; S_{ji} - вектор исходных данных, задающих внешние условия функционирования в i -ом режиме, соответствующем j -ой ветви дерева условий; Ψ_j - множество номеров ветвей, входящих из той же вершины дерева, в которую входит j -ая ветвь; D - число ветвей в дереве условий; W^0 - вектор запасов воды в водохранилищах ГЭС в начале расчетного периода; P_q - условная вероятность реализации условий, соответствующих q -ой ветви; W', W'' - вектора минимально и максимально допустимых значений запасов воды в водохранилищах ГЭС; x'_{ji}, x''_{ji} - то же для оптимизируемых параметров режимов; \tilde{W}_T - вектор требуемых значений математических ожиданий запасов воды в водохранилищах ГЭС в конце расчетного периода (определяется при решении задачи II).

Математическая формулировка задачи II отличается от представленной выше формулировки задачи I следующим: в состав оптимизируемых параметров задачи II помимо оптимизируемых параметров режимов x_{ji}^{onm} включаются запасы воды в начале расчетного периода W^0 ; учитываются дополнительные условия:

$$\tilde{W}_T = W^0, \quad (11)$$

$$W' \leq W^0 \leq W'' \quad (12)$$

В выражении (1) индекс t изменяется от $T+1$ до $T+T_{II}$, где T_{II} - число интервалов в расчетном периоде задачи II.

При рассмотрении достаточно продолжительного расчетного периода задачи I или II, число ветвей в «полном» дереве будет весьма велико. Поэтому возникает необходимость сокращения числа узлов и ветвей в дереве сочетаний. Такое сокращение возможно путем объединения вариантов приточности, поступающей в каскад за расчетный период воды, близких по энерго-экономическому эквиваленту. При расчете такого эквивалента следует учитывать разную экономическую ценность одного и того же количества воды, поступающей в одно и то же водохранилище в разные годы расчетного периода, в связи с дисконтированием затрат.

Все варианты приточности объединяются в заданное число групп N , в соответствии со значением энерго-экономического эквивалента. Для каждой группы выбирается один «средний» вариант. Причем этому варианту присваивается суммарная вероятность реализации всех вариантов группы. Из ветвей и узлов таких вариантов образуется «сокращенное» дерево сочетаний условий функционирования, для режимов которого выполняются расчеты при оптимизации. Алгоритм формирования «сокращенного» дерева организован таким образом, что для всех N вариантов его приточности задается вероятность реализации. При этом варианту с наименьшей приточностью вероятность следует назначать, исходя из требуемой обеспеченности приточности воды, при которой энергосистема должна снабжать потребителей электроэнергией без ограничений.

Выводы. Разработана методика оптимизации длительных режимов работы энергосистемы, основанная на построении дерева оптимальных траекторий уровней воды в водохранилищах ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Л.С. Картвелишвили Н.А. Оптимальные режимы работы ГЭС в энергосистемах // Гидротехническое строительство. 1968. № 6. С. 11-16.
2. В. А. Савельев. Современные проблемы и будущее гидроэнергетики Сибири. М.: Наука. 2000. 200 с.
3. R.E. Devis, Stochastic dynamic programming for multi-reservoir hydro-optimization, Technical report 15, Syst. Contr., Palo Alto, Calif., 1972.
4. Pereira M., Compodonico N., Kelman R. Long-term Hydro Scheduling based on Stochastic Models // Proc. Int. Conf. Electrical Power Systems Operation and Management (EPSOM'98). – Zurich, Switzerland, 1998 – М. Pereira 1-22.
5. Сыров Ю.П., Чурквейдзе Ш.С. К оптимизации длительных режимов электроэнергетических систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1969. №3. С.3-13.
6. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем / Н.А. Мурашко, Ю.А. Охорзин, Л.А. Крумм и др. М.: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. – 240 с.
7. Горштейн В.М., Мирошниченко Б.П., Пономарев А.В. Методы оптимизации режимов энергосистем. М.: Энергоиздат, 1981. 336 с.
8. J. Castro, J. Gonzales. A nonlinear optimization package for long-term hydrothermal coordination //European Journal of Operational Research. Vol. 154, 13, May 2004, pp. 641-658.
9. Клер А.М., Деканова Н.П., Санеев Б.Г. и др. Оптимизация развития и функционирования автономных энергетических систем. М.: Наука, 2001. 144 с.
10. Методы оптимизации сложных теплоэнергетических установок / А.М. Клер А.М., Н.П. Деканова, Т.П. Щеголева и др. М.: Наука, 1993. 116 с.

РАСЧЕТ ТЕПЛОТВОДЯЩЕГО И НЕСУЩЕГО ПОКРЫТИЯ МОЩНОГО СВЕТОДИОДА

Жидик Ю.С., Троян П.Е.

Научный руководитель: Троян П.Е., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: Zhidikyur@mail.ru

Светодиоды известны как эффективные малогабаритные источники света. Необходимость повышения мощности для увеличения светового потока привела к тому, что традиционная форма корпусного светодиода перестала удовлетворять из-за недостаточного теплоотвода [1].

В связи с этим в технологии изготовления светодиодов используют медную подложку, выполняющую роль теплоотвода. Для согласования температурных коэффициентов линейного расширения медной подложки и гетероструктуры и, следовательно, для уменьшения возникающих механических напряжений между ними, необходимо введение дополнительного слоя – сплава инвара.

Введение слоя инвара позволяет хорошо согласовать температурные коэффициенты линейного расширения, так как у него коэффициент линейного расширения обладает крайне малым значением ($1,5 \cdot 10^{-6}$ м/К, тогда как у GaN он равен $4,6 \cdot 10^{-6}$ м/К). Эффект исчезновения теплового расширения инвара возникает в связи с тем, что магнитострикция точно компенсирует тепловое расширение.

Решения указанной проблемы слабо отражены в литературе, и поэтому необходимо проведение экспериментальных и расчетных исследований по созданию теплоотводящего и несущего покрытия.

Задачей данных исследований является определение оптимальной толщины слоя инвара, согласующего тепловые коэффициенты линейного расширения гетероструктуры и металлической подложки, либо принятие решения при изготовлении светодиода инвар не использовать.

Расчёты производились в моделирующем комплексе ANSYS [2, 3, 4].

В данном комплексе расчёт проведен сначала решением задачи уравнениями теплопроводности с учетом граничных условий, а затем в соответствии с известными соотношениями теории упругости определены деформации и напряжения в слоях модельной структуры чипа светодиода (рисунок 1), возникающих при его тепловом нагреве.

Задаваемые размеры чипа: длина и ширина 1мм; толщина слоя меди – 60 мкм; толщина GaN – 7 мкм; толщина инвара варьируется от 0,2 до 15 мкм.

Параметры материалов используемых для расчёта приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1. Параметры используемых материалов

Параметр	Медь	Инвар	GaN
----------	------	-------	-----

Плотность, кг/м ³	8960	8130	6150
Модуль Юнга, Па	$1,23 \cdot 10^{11}$	$1,35 \cdot 10^{11}$	$3,62 \cdot 10^{11}$
Коэф. Пуассона	0,35	0,25	0,24
Коэф. Линейного расширения, м/К	$1,67 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	385	450	345
Теплопроводность, Вт/(м·К)	401	11	130
Степень черноты	0,04	0,07	0,04
Удельное сопротивление, Ом·м	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	----

Созданная геометрическая модель чипа (рисунок 1) разбита поверхностной сеткой на конечные элементы (400 штук, каждый площадью $2,5 \cdot 10^{-9}$ м²), для которых заданы граничные условия:

В активном слое (GaN) – энерговыделение мощностью 1Вт.

На нижней свободной плоскости медного слоя – фиксированная температура 110°С, считая что она будет поддерживаться за счет отвода тепла и его рассеивании, допустим, на радиаторе. Так же задано перемещение этой плоскости по оси Z равное нулю, считая, что эта плоскость чипа будет зафиксирована на печатной плате.

На оставшихся боковых поверхностях чипа заданы условия конвекции и теплового излучения.

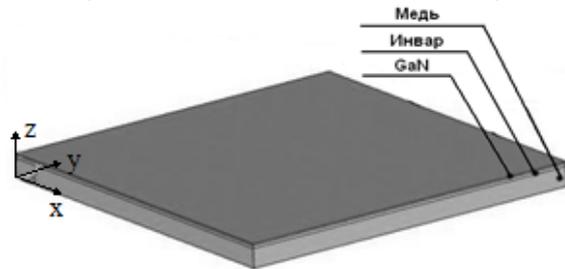


Рис.1. Модельная структура чипа светодиода

Задавая различную толщину инвара (от 0,2 до 15 мкм), а так-же повторив расчеты при замене слоя инвара дополнительным слоем меди такой-же толщины, были получены следующие величины, рассчитанные на один конечный элемент модельной сетки: вектора теплового потока (T_{str}), механических напряженностей (Q), вектор суммарных

перемещений узлов сетки (Δ) и вектор их перемещений только по оси Z .

По полученным результатам для наглядности оговоренных зависимостей построены гистограммы распределения (рисунки 2 – 4).

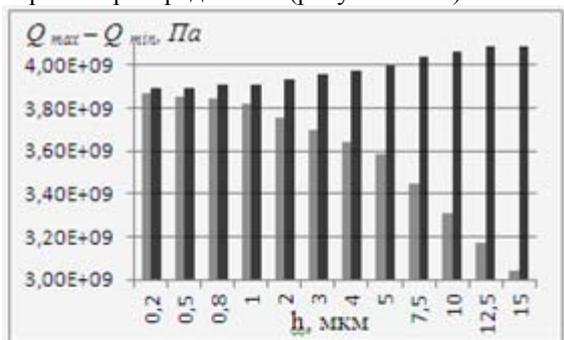


Рис.3. Гистограмма приращения вектора суммарных перемещений $\Delta_{\max} - \Delta_{\min}$

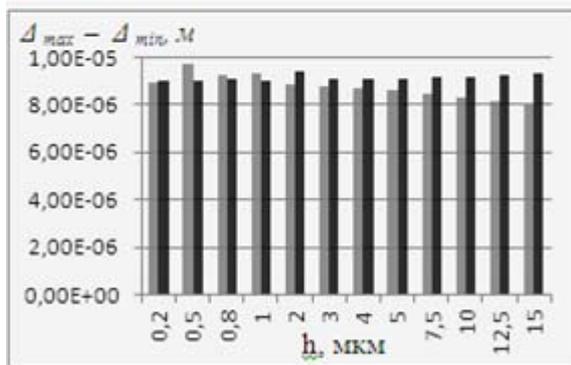


Рис.2. Гистограмма распределения приращения напряженности $Q_{\max} - Q_{\min}$

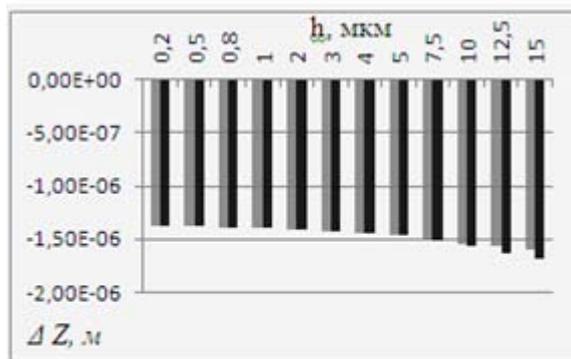


Рис.4. Гистограмма распределения вектора суммарных перемещений Δ по оси Z

Серые столбцы соответствуют рассчитанным данным образцов содержащих инвар; черные – слой инвара заменен медным слоем.

На гистограмме распределения $Q_{\max} - Q_{\min}$ хорошо видно, что с увеличением толщины слоя инвара диапазон возникающих механических напряженностей существенно уменьшается. Из рисунков 3 и 4 видно, что приращение вектора перемещений с возрастанием толщины слоя инвара уменьшается быстрее, чем при замене слоя сплава слоем меди. Величина теплового потока (T_{str}) с увеличением толщины слоя инвара уменьшается незначительно и его изменение пренебрежимо мало.

Итак, из проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что слой инвара действительно уменьшает возникающие при нагревании механические напряжения между слоями гетероструктуры и металлической подложки. Наиболее оптимально будет использовать слой инвара толщиной от 5 мкм до 10 мкм, т. к. при толщине слоя инвара в 5 мкм происходит изгиб чипа светодиода такой-же, как и при замене этого слоя слоем меди, а при увеличении толщины слоя свыше 10 мкм возрастает его тепловое и электрическое сопротивление (теплопроводность инвара в 36,5 раз ниже чем у меди, а удельное сопротивление больше в 39,4 раза), что нежелательно. Более точную толщину можно определить лишь в результате экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки по договору 73/10 в рамках 218-го постановления правительства РФ.

Список литературы:

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер.с англ. под ред. А.Э. Юновича – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
2. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS: учебное пособие. – Казань: КГУ, 2001. – 102 с.
3. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозова, М.А. Олфёрова. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
4. Босов К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Босов. – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 640 с.
5. Корицкий Ю.В. Справочник по электротехническим материалам: справочник / Ю.В. Корицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 3. – 726 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНЫХ И УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧАХ

Жумангалиева Р.Ж.

Научный руководитель: Прохоров А.В., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: rosa-r@yandex.ru

Усложняющиеся условия функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) определяют современные направления развития и совершенствования систем и средств мониторинга режимов работы ЭЭС. Одним из инструментов повышения эффективности управления режимами работы являются технологии WAMS (Wide Area Measurement System), в основу которых положен принцип синхронного измерения векторных параметров электрического режима.

Технология векторного измерения параметров режима электроэнергетической системы (ЭЭС) впервые начала внедряться как подсистема информационного обеспечения управления режимами ЭЭС в конце 80-х годов прошлого столетия, но наиболее значительный рост количества установленных PMU (Phasor Measurement Unit) и реализованных с их использованием систем прослеживается в последние пять лет. [1] Как отмечается в различных публикациях [2], [3], современные тенденции в данной области заключаются в использовании векторных измерений для решения задач электроэнергетики в реальном времени.

Для технологии векторных измерений, как и для любой другой новой технологии, важным этапом развития является ее переход из стадии научной разработки, пилотного проекта, в состояние отработанного, стандартизированного решения, готового для широкого использования.

Представляется, что именно доступность и распространенность данной технологии будут определять наиболее интенсивный период ее развития. Немаловажную роль здесь может играть образовательная составляющая. Примечательно, что векторная форма представления электрических параметров является эффективным инструментом изучения наиболее сложных вопросов электроэнергетики. Поэтому наглядность и простота интерпретации результатов векторных измерений, позволяют использовать их потенциал, как в инженерных целях, так и при подготовке специалистов в области электроэнергетики.

Однако препятствием этому является высокая стоимость оборудования и систем векторных измерений. Вместе с тем для полноценной апробации решений на базе PMU требуется наличие достаточно сложных объектов исследования – ЭЭС, натурные эксперименты в которых практически невозможны. Одним из примеров решения указанной проблемы, а также активного использования технологии векторных измерений в научной и образовательной сферах является гибридный всережимный моделирующий комплекс реального вре-

мени (ВМК РВ), разработанный в Томском политехническом университете (ТПУ).

Данный комплекс представляет собой многопроцессорную программно-техническую систему гибридного типа, предназначенную для моделирования в реальном времени ЭЭС, которая может работать автономно и информационно взаимодействовать с различными внешними программами и устройствами, в том числе через дополнительные адаптеры с устройствами релейной защиты и автоматики (РЗА).

В качестве примера использования ВМК РВ приведем результаты моделирования однофазного короткого замыкания на объекте – линия 220 кВ, протяженностью 91,8 километров, подстанция Н.Анжерская – Итатская – подстанция Восточная (АТ - 216). Процессы в линии АТ-216 в предаварийном, аварийном и послеаварийном режимах представлены на рисунке 1.

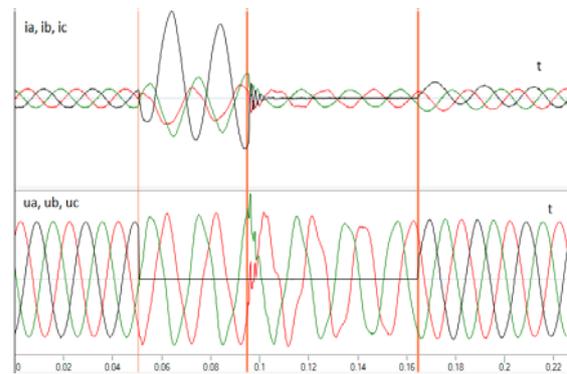


Рис.1. Мгновенные значения фазных токов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$ и напряжений $u_a(t)$, $u_b(t)$, $u_c(t)$ линии АТ216

В момент возникновения короткого замыкания фазы А на землю ($t = 0,05$ с) происходит резкое увеличение тока и снижение напряжения в данной фазе, а также искажение синусоид напряжений и токов других фаз, и появление несимметрии токов. Далее ($t = 0,95$ с) срабатывает устройство релейной защиты (РЗ), отключая фазу А, тем самым локализуя повреждение и посылая разрешающий импульс на устройство автоматического повторного включения (АПВ). После действия РЗ в поврежденной фазе линии наблюдается процесс затухания колебаний, вызванных коротким замыканием. АПВ срабатывает с выдержкой времени 0,07 с. Поскольку устройство АПВ сработало успешно, в энергосистеме (ЭС) восстанавливается нормальный режим работы. Короткое замыкание фазы А на землю в линии АТ-216 вызывает возмущения в смежной линии Т-204 (рис. 2). Процессы, проте-

кающие в линии Т-204, представлены на рисунке 2.

Анализ осциллограмм позволяет сделать вывод о том, что короткое замыкание и последующие за ним переходные процессы в поврежденной линии АТ-216 вызывают искажения синусоид фазных токов и напряжений в линии Т-204, а также их несимметрию, степень которой может быть оценена только при наличии информации об их углах. Однако этот процесс кратковременный, поэтому еще до срабатывания АПВ в линии восстанавливается нормальная форма сигналов.

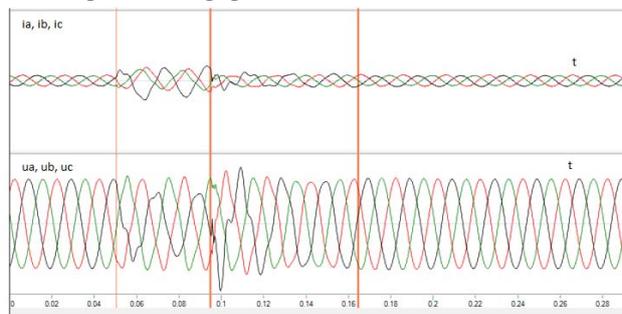


Рисунок 2. Мгновенные значения фазных токов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$ и напряжений $u_a(t)$, $u_b(t)$, $u_c(t)$ линии Т-204

Как видно из рассмотренного примера, информативность полученных результатов при наличии данных об углах, получаемых при векторных измерениях может быть значительно повышена, однако, полное представление о характере переходного процесса можно получить, только по полному сигналу, включающему аperiodическую и гармонические составляющие сигналов. Поэтому дальнейшей целью работы будет с учетом полученного в результате анализа литературы представления о технологии векторных измерений, повторить проведенные опыты используя в качестве источников первичной информации PMU, определить объем требуемой информации для получения полного представления о режимах рассматриваемого объекта ЭЭС, а также возможность комбинирования данных от традиционных средств и PMU. Результатом данной работы должна стать оценка достигаемого повышения наблюдаемости заданного района ЭЭС за счет использования PMU.

Поскольку устройства синхронизированных векторных измерений являются относительно новыми технологиями для российской энергетики, то в сочетании с уникальными возможностями все-режимного моделирующего комплекса реального времени проведение научно-исследовательских работ с использованием данного оборудования не

только позволяет обучаться специальным навыкам проектирования, моделирования и расчета параметров энергосистемы, но также и проводить исследования, выполнять разработки, в том числе при активном участии студентов, результаты которых должны иметь практическую ценность.

Собственный опыт автора показывает, что, используя данный комплекс, у студентов появляется возможность помимо освоения стандартного материала, который обязателен к изучению, заниматься учебно-исследовательской деятельностью: проектированием энергосистем, расчетом установившихся и переходных режимов, производить настройку и проверку релейной защиты и противоаварийной автоматики, а при достижении соответствующего уровня знаний - участвовать в научных исследованиях, направленных на поиск новых применений и совершенствование существующих подходов к использованию векторных измерений, в том числе, адаптивных алгоритмов управления режимами и алгоритмов РЗиА.

Таким образом, получая теоретическую и практическую базу в области применения новых технологий на примере решения стандартных задач, студенты приобретают знания, требуемые для поиска новых решений. Кроме того, наглядность и интерактивность ВМК РВ как инструмента обучения, позволяет сократить сроки освоения нового материала, организовать командную работу студентов и заинтересовать их участием в научно-исследовательской деятельности.

[1] PMU Optimal Allocation Using a Posteriori Bus-Observing Redundancy Removal Approach/ N. H. Abbasy, N.A. Ahmed// Selected Topics in Power Systems & Remote Sensing. 10th WSEAS/IASME International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines. Japan - 2010. - P. 35-40.

[2] Real-Time Application of Synchrophasors for Improving Reliability/ [http://www.nerc.com 10.08.2010]

[3] Использование информации, полученной от устройств синхронизированных измерений типа PMU, для построения полной математической модели энергосистемы/ Наумкин И.Е., Балабин М.А., Лаврушенко Н.Б., Наумкин Р.И.//Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: Сборник научных трудов СПб-2011.-С.25-30.

[4]Синхронные измерения в ЭЭС/ А.Данилин, М. Молвинских, Ф. Гайдамакин и др.// Энергостиль – 2011 - №11 – с.48-49.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ БИЕНИЙ РОТОРОВ

Зайцев Е. С.

Научный руководитель: Астафуров В. Г., д.ф.-м.н, профессор.
ОАО «Производственное объединение «Электрохимический завод»,
663690, Россия, Красноярский край, г. Зеленогорск, ул. Первая промышленная, 1
E-mail: taifun@ecp.ru

Радиальное биение (РБ) характеризует колебание ротора в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Колебания возникают вследствие наличия дисбаланса масс ротора и воздействия резонансных эффектов, происходящих в машине [1]. Информация о РБ может использоваться для диагностики технического состояния роторного оборудования с целью предупреждения аварийных ситуаций и оптимизации производства.

Для измерения РБ определенного типа машин используют входящие в их состав датчики вращения (ДВ). Анализ сигнала с датчика позволяет по специальным методикам установить величину биения [2, 3]. Измерения выполняют с помощью переносных приборов, использование которых является эпизодическим, часто трудоемким процессом. Поэтому актуальной является задача разработки автоматизированной системы измерения биений (АСИБ), позволяющей оперативно контролировать большие объемы оборудования. Создание указанной системы является целью проводимой работы.

В качестве базы для разработки АСИБ выбрана функционирующая на предприятии автоматизированная система контроля частоты вращения оборудования. Данная система охватывает весь объем машин и в процессе своей работы выполняет измерения параметров сигналов с ДВ. Результаты измерений могут использоваться для определения РБ роторов. Укрупненная структурная схема базовой системы показана на рис. 1. Контроллер синхронизма (КС) выполняет измерение параметров сигналов с ДВ, последовательно подключаемых к его входу группой агрегатных коммутаторов (АК). Контроллер верхнего уровня (КВУ) обеспечивает прием информации от КС по локальной вычислительной сети (ЛВС), её централизованное хранение, обработку и представление технологическому персоналу.

Изучение аппаратного обеспечения КС показало, что он позволяет выполнять измерение длительностей периодов сигналов с ДВ с точностью, достаточной для определения РБ. В качестве метода расчета РБ решено использовать метод согласования позиционно-временных зависимостей (СПВЗ), обеспечивающий хорошее совпадение результатов с эталонным оптическим способом измерения [3].

Штатные линии связи и АК вносят искажения в сигнал с ДВ, что приводит к существенным ошибкам в результатах расчета РБ. Для снижения влияния АК на результаты измерения разработана модификация метода СПВЗ, обеспечивающая исклю-

чение из расчета части периодов сигнала, наиболее подверженных искажению при прохождении цепей коммутации [3]. Модифицированный метод получил обозначение СПВЗ-И. Проверка нового метода в соответствии с подходом, представленным в статье [3], показала, что результаты СПВЗ-И соответствуют результатам эталонного оптического способа измерения биений.

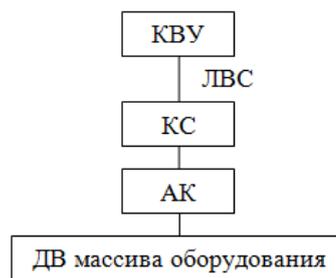


Рис. 1. Структурная схема системы контроля частоты вращения оборудования

Для расчета РБ по методу СПВЗ-И необходимо последовательное измерение длительностей отдельных периодов сигнала с ДВ. Изучение программного обеспечения (ПО) КС показало, что такие измерения не реализованы, несмотря на наличие соответствующих аппаратных возможностей. С целью обеспечения последовательного измерения периодов, выполнена доработка ПО КС, добавлены новые команды управления контроллером по сети.

Первоначально предполагалось, что расчет РБ будет производиться в КВУ. Для реализации этого необходимо передавать по ЛВС результаты измерений отдельных длительностей периодов сигнала с ДВ каждой машины. Учитывая объемы контролируемого оборудования, поток передаваемых данных становится существенным, что значительно снижает быстродействие АСИБ. В то же время, выполнение расчетов биений непосредственно в КС позволяет снизить количество данных, передаваемых по сети, на порядок. Но при этом возникает проблема недостатка вычислительных мощностей в силу того, что метод СПВЗ-И использует численные методы теории нелинейной оптимизации [3]. Так как КС построен на базе микропроцессора с малым быстродействием, использование численных методов приводит к большим временным задержкам, неприемлемым в плане оперативного контроля состояния оборудования. Для выполнения расчетов биений в КС необходимо про-

его на другой, возможно менее точный, но более быстрый метод расчета.

С целью упрощения вычислений проведен анализ метода СПВЗ и модели, положенной в его основу, с учетом особенностей используемых ДВ. В результате разработан метод средней точки линейный (СТЛ), использующий упрощенные соотношения исходной модели метода СПВЗ. Получен также модифицированный вариант метода для измерения биений через АК, получивший обозначение СТЛ-И. Сравнительные испытания методов СПВЗ-И и СТЛ-И на контрольной группе машин показали, что отличие результатов между методами не превышает 0,9%. При этом за счет использования линейных аналитических зависимостей, метод СТЛ-И обеспечивает скорость выполнения расчетов в несколько раз выше, чем метод СПВЗ-И.

Метод СТЛ-И внедрен в ПО контроллеров для расчета биений непосредственно в КС. В настоящее время выполняется окончательная доработка и тестирование модернизированного ПО. Внедрение АСИБ на базе КС будет выполнено после соответствующего изменения ПО КВУ, необходимого для использования нового функционала КС. До проведения модернизации КВУ для работы системы может использоваться выделенный ПК, подключаемый к сети через адаптер связи и взаимодействующий с КС посредством специально разработанного прикладного ПО.

Для проверки возможностей системы на базе КС проведены сравнительные измерения биений большого числа машин по методу СТЛ-И. В качестве опорного измерителя использовался переносной прибор, подключаемый напрямую к ДВ оборудования минуя АК. Данные экспериментов представлены на рис. 2 в виде зависимостей результатов измерений непосредственно с ДВ $A_{ДВ}$ от результатов измерений с помощью КС $A_{КС}$. Значения биений приведены в условных единицах (у.е.).

Анализ полученных данных показал, что среднее квадратичное отклонение (СКО) $A_{ДВ}$ от $A_{КС}$ составляет 0,085 у.е., что соответствует 11% от средней величины биения машин, участвовавших в эксперименте. Таким образом, достигнута приемлемая точность измерения РБ через штатные линии коммутации ДВ. Для получения большей точности необходимо осуществлять доработку АК, что приводит к существенным затратам на модернизацию, или использовать уточняющие измерения с помощью переносных приборов. В последнем случае измерения с помощью КС позволят

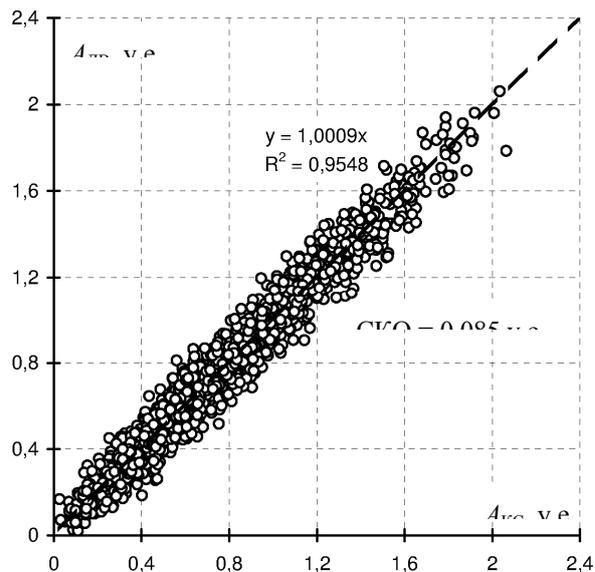


Рис. 2. Результаты измерения радиальных биений методом СТЛ-И

централизованно выявить машины, требующие более тщательного изучения.

В результате работы предложена автоматизированная система измерения радиальных биений роторов, построенная на базе штатной системы контроля частоты вращения оборудования. Система позволяет централизованно осуществлять измерения биений большого числа машин и использовать полученные данные для диагностики состояния оборудования. Функция измерения биений реализована путем внесения изменений в программное обеспечение контроллеров верхнего и нижнего уровня без изменения аппаратных средств. Таким образом, достигнута минимальная стоимость создания системы и наилучшие условия для её внедрения. Сохранены все возможности базовой системы по контролю частоты вращения оборудования, измерению дополнительных параметров, аварийной сигнализации и связи.

Список литературы

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.
2. Способ определения параметров колебаний вращающегося ротора: пат. 2180435 Рос. Федерация. Заявл. 05.11.99; опубл. 10.03.02, Бюл. № 7. – 7 с.
3. Зайцев Е.С., Домненко А.И. Контроль биений горловин роторов газовых центрифуг с использованием штатных датчиков вращения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 5. – С. 56–60.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОМОВ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Захаров А.А.

Научный руководитель: Удалов С.Н., к.т.н., доцент
Новосибирский Государственный Технический Университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20

E-mail: Pharaon13@mail.ru

В статье приведены экономические показатели эффективности строительства автономного энергосберегающего коттеджа площадью 160 м² и его отопления в сравнении с централизованными системами на территории Новосибирской области.

Введение

Во всем мире на сегодняшний день интенсивно реализуются различные проектные идеи строительства экологически чистого, автономного ресурсосберегающего дома или экоддома. С их помощью человек в состоянии спасти Землю от экологической катастрофы, уменьшить потребление углеводородных ресурсов, в целях сохранения энергетической безопасности для следующих поколений. Для нашей страны это тоже очень важный момент, так как физический и моральный износ энергетической инфраструктуры составляет на начало 2012 года более 70%, и при текущем отсутствии финансовых вливаний в модернизацию отрасли, вызывает большую тревогу и серьезные опасения за наше будущее. Беречь сегодня природу и энергоресурсы – задача для каждого из нас.

Оценка экодомостроения в Новосибирской области

Долгое время в обществе ходил миф о том, что в Сибири очень холодные зимы, почти отсутствует солнечное излучение. Что возвести экоддом очень затратно, не практично, и не эффективно. Но это только мысли не компетентных людей. Если взять простой справочник по климату, то в нём можно найти среднее годовое количество часов солнечного сияния в Новосибирске составляет 2077 часов, в сравнении с самым солнечным городом в мире Читой 2350 часов, очень приличный показатель, показывающий быструю окупаемость гелиоустановок на этой территории. С развитием энергосберегающих технологий во всем мире, и с быстрым ежегодным ростом тарифов на энергоносители и услуги ЖКХ, это привело к конкурентоспособности автономных энергосберегающих зданий, в сравнении с типовыми коттеджами [1].

Основными преимуществами экоддомов являются:

- благодатный микроклимат без радиаторов и кондиционеров, роль которых выполняют теплые полы и грунтовой рекуператор;
- независимость от теплосетей за счет использования солнечной энергии и альтернативных источников тепла в автономной системе горячего водоснабжения (ГВС);

- благодаря автономной биологической очистке можно отказаться от сточных вод, отравляющих природу и выделяющих метан, который рождает парниковый эффект полей орошения;
- биогенераторная система утилизации биологических отходов, превращения их в биогаз и удобрения даст возможность сократить полигоны ТБО (твердых бытовых отходов), которые являются источником "парникового" метана;
- биогаз и пиролизный газ позволяют добиться энергонезависимости и остаться в гармонии с природой;
- сбор и использование дождевой воды уменьшают зависимость от водоснабжения, а также экономят драгоценный природный ресурс - питьевую воду. [1].

Для возведения энергоэффективного здания в условиях Новосибирской области необходимо применить комплексный подход, начиная с первого этапа проектирования. Ограждающие конструкции должны обладать высоким термическим сопротивлением, для достижения большего аккумулярующего эффекта и уменьшения тепловых потерь в доме. На рисунке 1 показан график изменения тепловых потерь от термического сопротивления ограждающих конструкций на холодную пятидневку для коттеджа площадью 160 м² в Новосибирской области, с допущениями: термические сопротивления совмещённой кровли, потолка, пола первого этажа равняются $4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$, температура на чердаке -5 °С. Он указывает на то, что при увеличении термического сопротивления, потери очень значительно снижаются, для сравнения в настоящее время по нормам СНИПа термическое сопротивление ограждающих конструкций в строящихся, и в построенных типовых домах не превышает $3,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ [2]. В пересчете на годовой

промежуток времени и с учётом большого износа тепловых сетей владельцы типовых домов платят огромные средства до 30-50% на отопление «воздуха» вокруг дома.

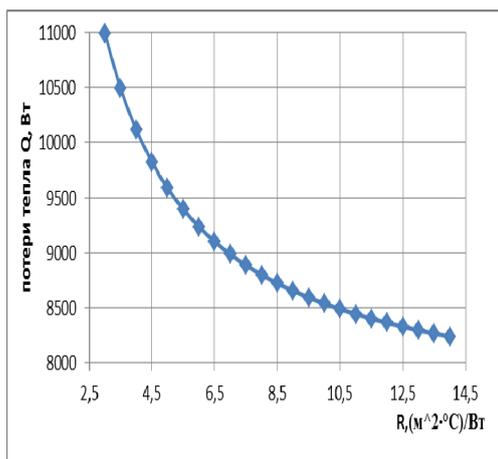


Рис. 1. График изменения тепловых потерь от термического сопротивления ограждающих конструкций в холодную пятидневку в Новосибирской области при температуре воздуха $-39^\circ C$;

Сравнение капитальных затрат автономного отопления дома с различными централизованными системами

При расстоянии менее 100м от централизованных систем отопления возведения экоддома будет не выгодно, срок окупаемости геолоустановок будет составлять не менее 15 лет. Поэтому строить такие дома или целые посёлки необходимо вдали от централизованных систем, где окупаемость проекта будет составлять менее 8 лет, что является нормой для энергетики. Для оценки приведены графики сравнения автономных систем теплоснабжения при различных термических сопротивлениях ограждающих конструкций с вариантами централизованного подключения источников тепловой мощности в виде, газопровода или электрической сети, точки, когда капитальные затраты будут равны. Цены на капитальные затраты были приняты на декабрь 2011 года в Новосибирской области. Из них можно увидеть, что при низком термическом сопротивлении точка равенства капитальных затрат сильно удаляется от централизованных систем теплоснабжения. Поэтому, чтобы уменьшить капитальные затраты на автономные системы отопления, необходимо проектировать дома с высоким термическим сопротивлением.

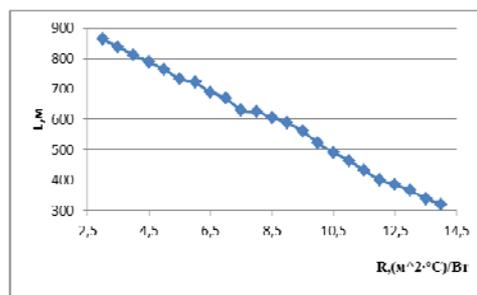


Рис. 2 График зависимости расстояния до централизованных систем газоснабжения при равенстве с капитальными затратами на автономные системы теплоснабжения от термического сопротивления ограждающих конструкций;

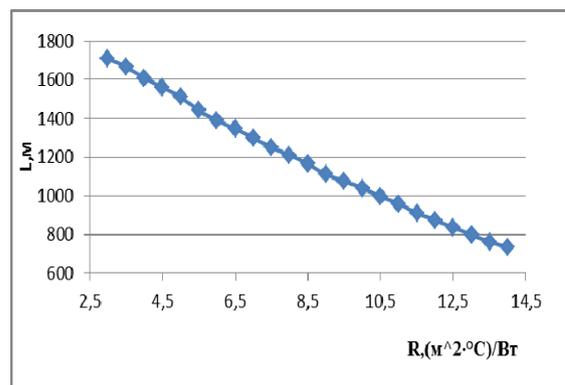


Рис. 3 График зависимости расстояния до централизованных систем электроснабжения при равенстве с капитальными затратами на автономные системы теплоснабжения от термического сопротивления ограждающих конструкций;

Заключение

Подводя итоги о целесообразности строительства экоддома в Новосибирской области на начало 2012 года, можно увидеть положительную тенденцию, так как рост тарифов на энергоресурсы, услуги ЖКХ и ежегодное ухудшение экологической обстановки все больше диктуют населению переход к энергосберегающим технологиям, к реконструкции действующих или к переезду в новые современные экологические энергоэффективные дома.

Литература

1. И.А. Огородников, О.Н. Макарова, Е.С. Дубынина. Экодом в Сибири. Новосибирск, 2000.
2. СНиП 23 – 02 - 2003. Тепловая защита зданий.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Исабеков Ж.Б.

Научный руководитель: Слободян С.М, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zh_is@mail.ru

Требование обеспечения безопасной и надежной работы непрерывно совершенствующегося электрического промышленного оборудования приводит практически к постоянной необходимости улучшения технических характеристик существующих и разработки новых с лучшими характеристиками устройств автоматического контроля изоляции в электрических сетях различного номинала напряжения, в том и числе и в сетях с напряжением 0,4 кВ. Наилучшим образом требованиям безопасности отвечают устройства и системы непрерывного оперативного контроля, большинство которых строится на основе микропроцессорных структур.

В настоящем докладе представлен для обсуждения один из вариантов устройств микропроцессорного контроля состояния изоляции в реальном масштабе времени.

Автором разработана архитектура программно-аппаратного варианта микропроцессорного устройства. Сущность архитектуры реализуемого устройства заключается в том, чтобы четко выделить то, что должно быть реализовано программным способом, и основана на измерении величин модулей линейного напряжения, напряжений фаз А, В и С, с последующим преобразованием величин в цифровые коды с целью автоматического определения параметров изоляции, сохранения этих данных в памяти, затем подключения активной дополнительной проводимости, с учетом которой производятся повторные измерения, и преобразования полученных величин в цифровые коды, сохранения их в памяти и отключения активной дополнительной проводимости [1].

Принцип действия архитектуры поясняется в функциональной схеме устройства определения параметров изоляции в сети напряжением 0,4 кВ, приведенной на рисунке. Схема, согласно рисунку, содержит: трехфазную электрическую сеть с фазами А, В, С; выключатель QF; блок согласования линейного напряжения – $U_{\text{Л}}$; блок согласования напряжения фаз А, В и С – $U_{\text{А}}$, $U_{\text{В}}$ и $U_{\text{С}}$; активная дополнительная проводимость g_0 ; дисплей – Д; усилительный блок – УБ; исполнительный орган – ИО; центральный процессор – ЦП; порт ввода – ПВв; порты вывода – ПВыв1, ПВыв2; постоянное запоминающее устройство – ПЗУ; оперативное запоминающее устройство – ОЗУ; аналого-цифровой преобразователь – АЦП; таймер – Т; энергозависимый таймер реального времени – ТВР; внутренняя шина данных – ВШ.

К трехфазной электрической сети подключаются отходящая линия через выключатель QF, активная дополнительная проводимость g_0 , блок

согласования линейного напряжения, блок согласования напряжения, измеряющий напряжения фаз А, В и С. К блоку согласования линейного напряжения, блоку согласования напряжения подключен порт ввода ПВв. Порт ввода ПВв, порты вывода 1 и 2 (ПВыв1, ПВыв2), постоянное запоминающее устройство ПЗУ, оперативное запоминающее устройство ОЗУ, аналого-цифровой преобразователь АЦП, таймер Т, энергозависимый таймер реального времени – ТВР посредством шины данных подключены к центральному процессору ЦП. Порт вывода ПВыв1 подключен к дисплею. Порт вывода ПВыв2 подключен через усилительный блок к исполнительному органу ИО. Энергозависимый таймер реального времени ТВР выполняет функции ведения календаря, и привязки результатов ко времени.

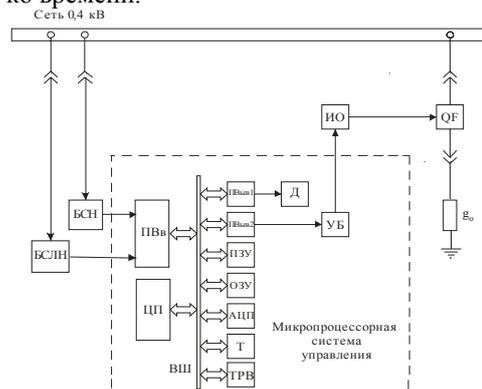


Рисунок. Функциональная схема устройства автоматического определения параметров изоляции в электрических сетях напряжением 0,4 кВ

Центральный процессор выполняет программу обработки данных, записанную в постоянном запоминающем устройстве, выполняющую функцию памяти программ: центральный процессор посылает на АЦП команду преобразования с порта ввода, который принимает сигналы модулей напряжений с блока согласования линейного напряжения, блока согласования напряжения. Аналого-цифровой преобразователь опрашивает порт ввода, производит преобразование сигналов модулей напряжений с блока согласования линейного напряжения, блока согласования напряжения в цифровые коды. Аналого-цифровой преобразователь посылает центральному процессору сигнал окончания преобразования, после чего центральный процессор считывает цифровые коды модулей напряжений и АЦП вычисляет значения параметров изоляции согласно выражениям:

– полная проводимость изоляции электрической сети

$$y = \frac{\sqrt{3} \cdot U_A}{\sqrt{U_{\Pi}^2 + 3 \cdot U_A^2 - \sqrt{3 \cdot \left[4 \cdot U_{\Pi}^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2) \right]}}} \quad (1)$$

– емкостная проводимость изоляции электрической сети

$$b = \frac{U_C^2 - U_B^2}{\sqrt{U_{\Pi}^2 + 3 \cdot U_A^2 - \sqrt{3 \cdot \left[4 \cdot U_{\Pi}^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2) \right]}}} \quad (2)$$

– активная проводимость изоляции электрической сети

$$g = \sqrt{y^2 - b^2}, \quad (3)$$

где U_{Π} – линейное напряжение; U_A – напряжения фазы А относительно земли; U_B – напряжения фазы В относительно земли; U_C – напряжения фазы С относительно земли; g_0 – активная дополнительная проводимость.

Вычисленные значения параметров изоляции центральный процессор записывает в оперативное запоминающее устройство, выполняющее функцию памяти данных. Значение параметров также подаются в порт вывода ПВыв1. С порта вывода ПВыв1 значения параметров изоляции поступают на дисплей.

При отсутствии напряжения в электрической сети центральный процессор программирует таймер на задержку времени, после истечения этого интервала задержки посылает сигнал центральному процессору, который начинает заново выполнять программу обработки данных.

При наличии напряжения в электрической сети центральный процессор посылает в порт вывода ПВыв2 сигнал подключения активной дополнительной проводимости g_0 , который усиливается усилительным блоком УБ и поступает на исполнительный орган ИО выключателя QF. К фазе А трехфазной электрической сети подключается активная дополнительная проводимость. Центральный процессор запускает таймер Т, который осуществляет выдержку времени, достаточную для подключения активной дополнительной проводимости. По истечении выдержки времени таймер Т посылает сигнал центральному процессору. После чего центральный процессор посылает на аналого-цифровой преобразователь команду нового преобразования модулей напряжения с блока согласо-

вания линейного напряжения и блока согласования напряжения в цифровые коды. Затем аналогичным образом АЦП посылает центральному процессору сигнал окончания преобразования. Центральный процессор считывает цифровые коды модулей напряжения из аналого-цифрового преобразователя и вычисляет значения параметров изоляции согласно выражениям (1), (2), (3) с учетом подключения активной дополнительной проводимости.

Вычисленные значения параметров изоляции и их время измерения центральный процессор записывает в оперативное запоминающее устройство, выполняющее функцию памяти данных, а также посылает в порт вывода ПВыв1. С порта вывода ПВыв1 значения параметров изоляции поступают на дисплей. Центральный процессор посылает в порт вывода ПВыв2 сигнал выключения выключателя QF, который усиливается усилительным блоком и поступает на исполнительный орган выключателя QF. Активная дополнительная проводимость g_0 исполнительным органом ИО выключателя QF отключается от фазы А трехфазной электрической сети.

Центральный процессор запускает таймер Т, который осуществляет выдержку времени, равную заданному периоду определения параметров изоляции. По истечении выдержки времени таймер посылает сигнал центральному процессору, который начинает снова выполнять программу обработки данных.

Вывод. Принцип действия разработанного устройства автоматического определения параметров изоляции в электрических сетях 0,4 кВ, позволяет производить автоматическое определение параметров изоляции, сохранение полученной информации в памяти, тем самым, повышая надежность сетей и энергосистем. Разработанная архитектура устройства основана на магистрально-модульном принципе, является наиболее универсальной, позволяет повысить степень автоматизации и проводить дальнейшее совершенствование функционирования работы и расширение функциональных возможностей микропроцессорного устройства [2].

Список литературы:

1. Утегулов Б.Б., Исабеков Ж.Б., Акаев А.М., Абдрахманова Л.М. Исследования устройств защиты автоматики в электрической сети напряжением 0,4 кВ // Международная научная конференция VII Сатпаевские чтения, 2007, № 20. – С.145–149.
2. Преснухин Л.Н. Микропроцессоры. Архитектура и проектирование микро-ЭВМ. Организация вычислительных процессов. – М.: Высшая школа, 1986. В 2-х томах. Т.1. – 494 с.

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Колганова Ю.Л., Свечканева А.А.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: julia_kolganova@mail.ru

В настоящее время усилия большого числа исследователей направлены на разработку новых методов получения различных нанодисперсных материалов. В частности большой интерес проявляется к нанодисперсным оксидам железа разного химического и фазового состава [1]. Антиферромагнетик гематит α - Fe_2O_3 в нанодисперсном состоянии может найти применение в качестве прекурсора для получения магнитных оксидов железа [2], пигмента-красителя, в солнечных элементах и для фотокатализа. Ферромагнетики магнетит Fe_3O_4 и маггемит γ - Fe_2O_3 , а также метастабильная фаза ϵ - Fe_2O_3 с удельными намагниченностями соответственно ~ 82 , 65 и 10 Гс·см³/г в нанодисперсном состоянии могут быть использованы как радиопоглощающие материалы, а так же в областях оптики, электроники, биологии и медицины.

В настоящей работе представленные результаты поисковых исследований по прямому синтезу и получению нанодисперсных оксидов железа универсальным плазмодинамическим методом в сверхзвуковой струе электроразрядной плазмы [3]. Струя в замкнутом объеме камеры-реактора (КР) генерируется импульсным, сильноточным, коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами (сталь3). Устройство КМПУ и схема питания от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с емкостью конденсаторной батареи $C = 14,4$ мкФ и зарядным напряжением $U_{\text{зар}} = 4,0$ кВ, показаны на рис.1.

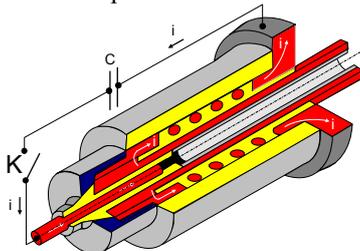


Рис.1. Устройство КМПУ

Электрод-ствол изготавливается из отрезка стальной трубы с диаметром цилиндрического ускорительного канала (УК) $d_{\text{ук}} = 15$ мм и длиной $l_{\text{ук}} = 220$ мм. Давление воздушной атмосферы P_0 в КР изменялось от 0,5 до 2,0 атмосфер. Осциллограммы рабочего тока $i(t)$ и напряжения $U(t)$ на электродах ускорителя приведены на рис.2. Основной материал для синтеза нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности УК в течение всего цикла работы КМПУ, ускоряется в плазме разряда, выносится сверхзвуковой струей и распыляется в КР с образованием ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа. Вскрытие КР и отбор синтезированного продукта производится через некоторое время после полного осаждения

взвешенных в воздухе частиц на стенке и на постоянных магнитах, установленных в КР. Данные серии экспериментов приведены в таблице 1, из которой видно, что величина P_0 не влияет на параметры плазменного выстрела и выход УДП.

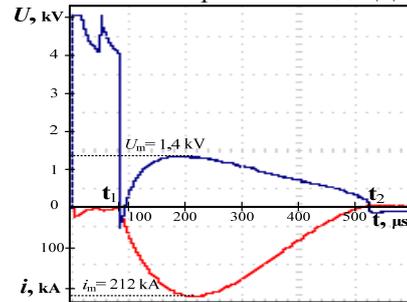


Рис.2. Осциллограммы рабочего тока $i(t)$ и напряжения $U(t)$ на электродах ускорителя

Таблица 1. Данные экспериментов

Параметры	Эксперимент		
	1	2	3
Давление P_0 , атм	0,5	1,0	2,0
Максимальное напряжение, U_m , кВ	1,4	1,4	1,5
Максимальный ток, I_m , кА	239,0	212,0	230,0
Максимальная мощность, P_m , кВт	325	290	350
Подведенная энергия, W , кДж	71,0	61,0	67,0
Эрозия ствола, m_z , г	9,0	7,2	7,7
Удельная эрозия, m_z/W , г/кДж	0,13	0,12	0,12
Масса УДП, m , г	5,6	4,4	6,2

В экспериментальных условиях рассматриваемая система на основе КМПУ позволяет производить за 1 час до 12 плазменных выстрелов с суммарным выходом УДП фракций до ~ 65 г. Энергозатраты относительно накопленной энергии в ЕНЭ (при к.п.д. ее передачи в нагрузку КМПУ $\sim 60\%$) не превышают 6,0 Вт·час/г, что значительно выше показанных в работе [2].

Вполне естественно, что собранный УДП сильно агломерирован не только за счет слабых вандер-ваальсовых сил, но и в силу магнитного взаимодействия ферромагнитных частиц оксидов железа. Поэтому, несмотря на ультразвуковую обработку образцов, получены очень широкие кривые распределения по размерам агломератов (анализатор Shimadzu XRD-6000), приведенные на рис.3. Наиболее широкое полимодальное распределение имеют агломерированный УДП, полученный при $P_0 = 1,0$ атм. (кривая 1, рис.3). Заметно меньшие и близкие между собой диапазоны размеров агломератов имеют УДП, полученные при 2,0 и 0,5 атм (кривая 2 и 3). Это может быть обусловлено отмеченной нами в работе [3] тенденции увеличения степени агломерации с уменьшением среднего размера наночастиц в УДП.

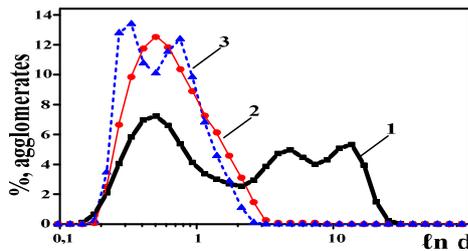


Рис.3.

Кривые распределение по размерам агломератов.

1. (■) 1,0 атм.; 2. (●) 2,0 атм.; 3. (▲) 0,5 атм

На рис.4 приведены характерные рентгеновские дифрактограммы УДП (дифрактометр Shimadzu XRD-6000), синтезированных при $P_0=1,0$ атм и собранных со стенок камеры-реактора (1) и с постоянных магнитов (2).

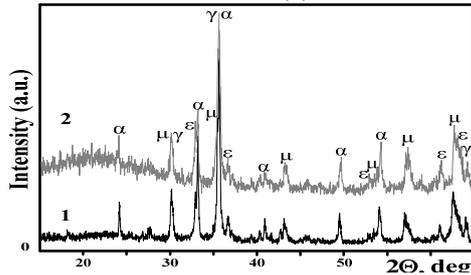


Рис. 4. Характерные дифрактограммы УДП.

1—со стенок КР; 2—с постоянных магнитов.

α – гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$; γ – маггемит $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$;
ε – орторомбическая модификация $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$;
μ – магнетит Fe_3O_4 .

Их очевидным отличием является наличие на кривой (2) диффузного пика аморфной фазы с максимумом вблизи $2\theta = 20$ градусов, свидетельствующее о ее содержании до 50% в УДП, собранном с постоянных магнитов. Аналогичные сравнительные оценки содержания аморфа – 40% и 30% сделаны по дифрактограммам УДП, полученных соответственно при 0,5 и 2,0 атм. Следует отметить, что кривые XRD для полученных УДП практически идентичны по набору основных рефлексов и соответствуют гетерофазным системам с одинаковым фазовым составом. Во всех случаях в расчетах с использованием программы PowderCell2.4 наилучшие показатели сходимости получены при использовании следующих структурных моделей кристаллических оксидов железа: магнетит Fe_3O_4 (пространственная группа SG: Fd3m); маггемит $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (SG:P 4_3 2_1 2); гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (SG: R3c). Эти фазы следует считать основными компонентами получаемых УДП. В таблице 2 приведены усредненные данные полнопрофильного рентгеновского структурно-фазового анализа УДП, полученных при разных P_0 . Видно, что для всех УДП имеет место сравнимое массовое соотношение четырех кристаллических фаз. Минимальные средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР), соответствующие среднему размеру частиц [2], имеет УДП, полученный при P_0

=1,0 атм. Кроме того, этот порошок содержит и большее количество аморфной фракции, которая осаждается в основном на магнитах. Эти данные еще раз подтверждают предположение об увеличении размеров агломератов с уменьшением размеров частиц. Наибольший средний размер ОКР имеет УДП, синтезированный при $P_0=2,0$ атм.

Таблица 2. Данные рентгеновского анализа

P_0 , атм	Фаза	Содерж., % масс	Содерж. магнит. фаз, % масс	ОКР, нм	Средний ОКР магнит. фаз, нм
0,5	Fe_3O_4 Magnetit	12,6	89,6	43,9	44,0
	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Maghemite	43,7		39,4	
	$\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$	33,3		48,1	
	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Hematit	10,4	>10 0		
1,0	Fe_3O_4 Magnetit	18,3	88,8	38,2	35,0
	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Maghemite	38,2		36,2	
	$\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$	32,3		29,4	
	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Hematit	11,2	>10 0		
2,0	Fe_3O_4 Magnetit	20,6	90,6	46,9	49,0
	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Maghemite	35,7		57,6	
	$\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$	34,3		43,9	
	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Hematit	9,4	63,4		

Приведенные экспериментальные данные исследования показали возможность синтеза нанодисперсных гетерофазных порошков оксида железа новым плазмодинамическим методом с относительно высокой производительностью и низкими энергетическими затратами.

Список источников:

1. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства// Успехи химии-2005-74(6), с.539-574.
2. Осипов В.В., Платонов В.В., Уймин М.А., Подкин А.В. Лазерный синтез нанопорошков магнитных оксидов железа// Журнал технической физики -2012- т. 82, вып.4, с.123-129.
3. Сивков А.А., Найден Е.П., Герасимов Д.Ю. Прямой динамический синтез нанодисперсного нитрида титана в высокоскоростной импульсной струе электроэрозионной плазмы// Сверхтвердые материалы -2008-№5(175), с.33-39.

МЕТОД АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Коробейникова М.В.

Научный руководитель: Слободян С.М., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: taya2020@yandex.ru

Электроэнергетическая система (ЭЭС) непрерывно подвергается внешним и внутренним возмущениям, которые вызывают изменение параметров режима – реакцию ЭЭС. Изменение параметров зависит как от вида и величины воздействия, места его приложения (внешних факторов), так и от схемы и параметров элементов ЭЭС (внутренних факторов).

Цель данной работы – предложить методы выявления наиболее чувствительных к внешним воздействиям параметров (сенсоров), что в дальнейшем позволит определить их связь с параметрами ЭЭС и использовать эту информацию для улучшения поведенческих свойств ЭЭС – управляемости, надежности, контролируемости.

Задача анализа неоднородностей ЭЭС заключается в том, чтобы с использованием матриц обобщенных связей элементов ЭЭС и информации о местах приложения возмущений найти подходящие методы, дающие возможность выявить сенсорные элементы ЭЭС. Для оценки эффективности разных форм и топологической структуры элементов и узлов систем в условиях изменяющихся воздействий и нагрузок могут быть использованы различные методы структурной и геометрической оптимизации [1], которые успешно применяют для улучшения эксплуатационных свойств разных типов объектов.

Представляя структуру (схему) электрической сети в виде совокупности постоянно повторяющегося простейшего (единичного) её элемента, можно говорить о фрактальности такой сети. Фракталы – это самые разные системы, начиная от кристаллов и просто кластеров (различного рода скоплений, таких как облака, реки, горы, материки, звёзды), заканчивая экосистемами и биологическими объектами (от листа папоротника до человеческого мозга). Фракталы являются, с одной стороны, сложными объектами (содержат бесконечное множество элементов), с другой стороны – построены по очень простым законам. Фрактал выгодно отличается от природного объекта тем, что имеет строгое математическое определение и поддается строгому формализованному описанию и анализу своей структуры [2-3].

Существенно, что фрактальный объект, кажущийся построенным по случайному закону и поэтому выглядящий как неупорядоченная система, все же имеет внутренний порядок. Параметром, характеризующим этот порядок, является фрактальная размерность. Понимание этого факта дает экспериментаторам возможность более детально исследовать такие системы, что подтверждается опытом последних лет.

Одним из известных способов вычисления фрактальной размерности в двумерном случае является клеточный метод [4], состоящий в следующем. Область, содержащая фрактал A , разбивается на квадратные клетки нескольких размеров ϵ . Затем подсчитывается число клеток $N(\epsilon)$, необходимых для покрытия A в каждом случае. Полученные значения либо подставляются в соотноше-

$$\log N(\epsilon_i) = -d \cdot \log \epsilon_i \quad (1),$$

где d – фрактальная размерность, либо строится билогарифмический график зависимости $\ln N(\epsilon_i)$ от размера клетки $\ln \epsilon_i$ (рис.1), где тангенс угла наклона прямой является фрактальной размерностью d .

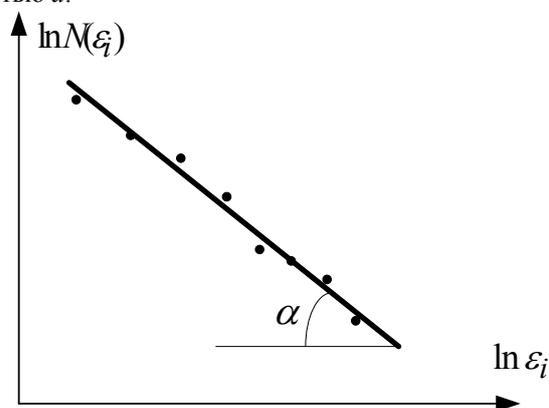


Рис.1. Клеточный способ определения фрактальной размерности

Однако для таких сложных и многогранных объектов как энергосистема, существуют современные, более подходящие для подобных структур методы. В настоящее время известны следующие виды анализа неоднородности электроэнергетических систем: сингулярный, спектральный, структурный.

Методы сингулярного и спектрального анализа с использованием матрицы Якоби применяются для установившихся режимов, а для переходных режимов чаще используется анализ различных показателей взаимной связи между генераторами с применением методов кластерного анализа.

Структурный анализ ЭЭС [5] позволяет на основе структуризации исходной или эквивалентной схемы ЭЭС выявить статические и динамические свойства ЭЭС без проведения традиционных трудоёмких расчетов режимов и переходных процессов. Ключевой исходной посылкой структурного анализа является то, что поведение ЭЭС определяется взаимным поведением генераторов в переходном процессе.

В основе структурного анализа лежит

определение «слабых сечений» ЭЭС посредством кластерного анализа – множества вычислительных процедур, которые формируют либо выявляют иерархии (разбиения) на базе тех или иных совокупностей данных. Совокупность объектов представляется в виде иерархической системы подмножеств (кластеров), получаемой с помощью либо последовательных объединений пар ближайших друг к другу кластеров, либо, **наоборот**, последовательного деления всего множества объектов. Под кластером здесь понимается заданная на совокупности объектов группа объектов, для которой сходство любых двух принадлежащих ей объектов выше, чем сходство любого принадлежащего группе объекта с любым не принадлежащим группе объектом.

Изложение ведется в предположении, что известна **СИММЕТРИЧНАЯ** матрица, ранг которой – число генераторов ЭЭС, а элементы – количественные показатели схождения или **РАЗЛИЧИЯ** поведения генераторов в переходном процессе. В качестве схождения могут выступать структурные показатели схождения генераторов, элементы обратной матрицы Якоби, разности компонент собственных векторов матрицы проводимостей и т.п. Таким образом, в качестве объектов классификации выступают генераторы, а в качестве кластеров – их группы (подсистемы генераторного графа).

Пусть известна матрица схождения $\mathbf{P} = [p_{ij}]$

или различия **$\mathbf{D} = [d_{ij}]$** некоторых объектов, каждый элемент которой представляет собой количественную меру величины схождения или различия двух объектов, определяющих его место в матрице. Пусть при этом **НУЛЕВОЕ** значение элемента соответствует отсутствию информации о схождении или различии сравниваемых объектов. Будем считать два объекта различными, если значение отвечающего им элемента матрицы схождения ненулевое и не превышает некоторого предварительно заданного "порогового" значения.

На основании одной из этих матриц и заданного порогового значения ($p^{\text{пред}}$ для схождения или $d^{\text{пред}}$ для различия), при достижении которого соответствующие элементу матрицы объекты становятся различными, может быть определена матрица отношений схождения

(различия) **$\mathbf{R} = [r_{ij}]$** между объектами, каждый элемент которой может принимать одно из трех дискретных значений:

- *сходство*, т.е. $r_{ij} = 1$: при $p_{ij} > p^{\text{пред}}$ или при $0 < d_{ij} < d^{\text{пред}}$. Сходство двух объектов означает обязательность включения этих объектов в одну группу;
- *различие*, т.е. $r_{ij} = -1$: при $0 < p_{ij} < p^{\text{пред}}$ или при $d_{ij} > d^{\text{пред}}$. Различие двух объектов означает невозможность включения этих объектов в одну группу;
- *неопределенность схождения (различия)*, т.е. $r_{ij} = 0$: при $p_{ij} = 0$ или $d_{ij} = 0$. Неопределенность схождения (различия) двух объектов, допускающая как включение, так и не включение этих объектов в одну группу.

На основе матрицы отношений **\mathbf{R}** между объектами и приведенного выше определения кластера можно найти отношение принадлежности любого объекта к кластеру объектов [5].

Знание «слабых сечений» ЭЭС, полученное в результате кластерного анализа позволяет:

- выбрать меры для того, чтобы сделать ЭЭС более «прочной», снизить реакцию на внешние возмущения;
- сократить число вариантов (сценариев) возмущений, которые надо учитывать при оперативной оценке допустимости и надежности режима;
- снизить объем вычислительной работы за счет улучшения обусловленности при эквивалентировании слабых мест.

Список литературных источников:

1. Абраменкова Н.А., Воропай Н.И., Заславская Т.Б. Структурный анализ электроэнергетических систем (в задачах моделирования и синтеза). – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 224 с.
2. Кроновер, Ричард М. Фракталы и хаос в динамических системах: пер. с англ.: учебное пособие / Р.М. Кроновер. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2006. – 484 с.: ил.
3. Физика фрактальных кластеров / Б.М. Смирнов. – М.: Наука, 1991. – 136 с.: ил. – (Современные проблемы физики). – Библиогр.: с. 125-134.
4. Большаков В.И. Фракталы в материаловедении: учебник / В.И. Большаков, В.Н. Волчук, Ю.И. Дубров. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – 253 с.: ил.
5. Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / О.Н. Войтов, Н.И. Воропай, А.З. Гамм и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 256 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Крепышев И.С.

Научный руководитель: Манусов В. З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, 630092, Россия, г. Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 20
E-mail: kis07@rambler.ru

Проектирование систем электроснабжения (СЭС) характеризуется неполнотой проектной информации на всех этапах разработки нового технического объекта - от анализа технического задания до разработки проектной документации. Высокий уровень неопределённости является принципиальным при описании объектов проектирования, относящихся к классу СЭС и структура которого представляет собой иерархию сильно связанных элементов. Далеко не всегда удается применить точные математические методы для решения задач автоматического проектирования системы электроснабжения, поскольку часто их решение основывается на использовании субъективных знаний и опыта проектировщика, характеризующихся неполнотой и фрагментарностью. Формализация экспертных знаний традиционно производилась с использованием в процессе проектирования систем, основанных на знании - экспертных систем. Соответствующие системы автоматического проектирования получили название интеллектуальных САПР.

Многие задачи автоматического проектирования систем электроснабжения, решение которых основывается на субъективных знаниях о закономерностях проблемной области, сводятся к задачам принятия решений в условиях многокритериальности и оптимизации. Для решения таких насыщенных расчетами задач часто недостаточно привлечения только технологии экспертных систем, для которой характерно доминирование символьных методов. Поэтому в процессе разработки проектной документации требуется привлекать альтернативные методы интеллектуализации.

В настоящее время на основе исследований в основном зарубежных ученых [1,2] формируется методология “мягкие вычисления”, среди направлений которой можно выделить нечеткие системы [1,3] и генетические алгоритмы [1,2].

В рамках указанных направлений новыми методами могут быть решены традиционные задачи оптимизации и принятия проектных решений в условиях неполноты проектной информации. Основным достоинством данной методологии являются толерантность к неполноте исходных данных.

Особенности проблемной области оказывают значительное влияние на способ реализации нечетких систем и генетических алгоритмов. Так учет неполноты системы предпочтений проектировщика при выборе оптимального варианта схемы системы электроснабжения, который является иерархическим многокомпонентным объектом проектиро-

вания, требует использовать не только простые решающие правила, но и формальные методы многокритериального анализа с учетом нечеткости экспертных оценок и стратегий свертывания критериев. Научная проблема формализации процессов принятия решений заключается в разработке интеллектуальных систем, синтезирующих традиционные математические методы многокритериального анализа, методы нечетких систем и экспертных оценок.

Большинство задач оптимизации при проектировании системы электроснабжения характеризуются значительным пространством поиска с большим количеством локальных экстремумов. Повысить качество решений, найденных с использованием методов генетического поиска, возможно при определении оптимальных значений параметров алгоритма и адаптации генетических алгоритмов к задачам оптимизации. В связи с этим, научная проблема построения генетических алгоритмов для решения задач оптимизации проектирования систем электроснабжения состоит в повышении их эффективности путем разработки методов адаптации генетических алгоритмов к определенному множеству задач.

Объектом исследования в данной статье является возможность применения нечетких моделей и генетических алгоритмов при проектировании систем электроснабжения. В качестве предмета исследования выступают нечеткие системы и генетические алгоритмы для решения ряда задач в области проектирования систем электроснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Необходимо провести сравнительный анализ возможностей и ограничений существующих программных комплексов, выявить характерные особенности проблемной области проектирования систем электроснабжения и определить место нечетких систем и генетических алгоритмов в задачах проектирования систем электроснабжения.

2. Разработать метод многокритериального анализа при проектировании систем электроснабжения, учитывающей нечеткий характер системы предпочтений проектировщика и подчинение различных групп критериев различным стратегиям агрегации.

Разработать метод адаптации стандартного генетического алгоритма к задачам оптимизации.

Оценить возможность создания системы автоматизированного проектирования построенной с применением нечетких множеств и генетических алгоритмов.

Для достижения цели планируется применять следующие методы исследования: методы системного анализа, теории управления, математического моделирования, методы представления знаний, совокупность методов, обобщенных направлением мягких вычислений и проектирование программных систем. В качестве средств создания интеллектуальных автоматизированных систем планируется использовать оболочку нечеткой экспертной системы FuzzyClips 6.10 и среда разработчика Microsoft Developer Studio.

Среди современных методов исследования операций известен и широко применяется метод анализа иерархий Т. Саати [4,5], который позволяет решать задачу многокритериального выбора слабоформализованных альтернатив. В метод анализа иерархий, Саати предлагает математическую обработку экспертных оценок на основе матричных вычислений и аддитивной свертки критериев.

Кратко изложим основные положения МАИ. При решении задачи многокритериального выбора объекты составляют нижний уровень иерархии. Вершиной иерархии является цель. "Минимальное" представление задачи выбора - это трехуровневая иерархия: <цель>, <критерии>, <объекты> (рис.1).

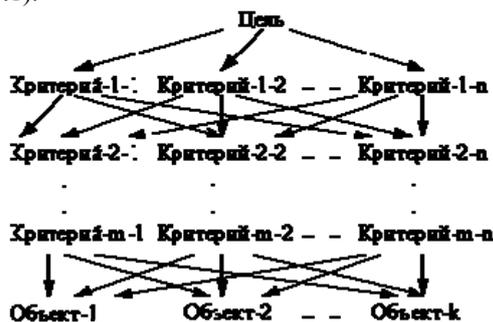


Рис.1. Иерархия многокритериального выбора

В иерархии каждый элемент высшего уровня считается значимым для каждого низшего, то есть действуют все возможные связи.

Этапы МАИ:

1. Составить иерархию <<цель>, <критерий-1>, ... <критерий-m>, <объекты>> (рис.1).
2. Парные сравнения критериев (объектов) на основе шкалы субъективных суждений.
3. Расчет вектора локальных приоритетов - весов критериев (объектов).
4. Расчет собственного значения матрицы A_{ij} - индекса согласованности ИС, отношения согласованности.

Таким образом можно прийти к выводу что: Представление системы предпочтения лица принимающего решения в виде иерархической структуры в системе поддержки принятия решений отражает принцип декомпозиционно-агрегативного подхода, выступающего в качестве основного при проектировании системы электроснабжения.

Процессы выбора технического решения при проектировании СЭС - это по своей природе иерархические субъективные процессы принятия решений. В связи с этим при построении системы поддержки принятия решений возникает необходимость применения нечетких для учета нечеткого характера субъективной экспертной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Скурихин А. Генетические алгоритмы/ Новости искусственного интеллекта, N.4., 1995, с. 6-17.
2. Ярушкина Н. Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1997. - 107 с.
3. Zadeh L. What is soft computing? Soft computing Vol. 1, N. 1, 1997, pp.2-3
4. Саати Т., Кернс. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.: ил.- ISBN 5-256-00380-1.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.: ил.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ В СЕТЯХ 0,4 КВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кузьмин А.А.

Научный руководитель: Ефремов И.А., д.т.н., профессор
Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия,
630092, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

E-mail: kuzmin_a_a@211.ru

Основную нагрузку большей части промышленного производства составляют высоковольтные электродвигатели. Долгое время перед конструкторами стоял вопрос о техническом решении узла вращения подвижной части, так как многие приводы имеют массивный ротор. С конца 80-х годов шло активное развитие подшипника на основе магнитного поля.

Особенностью магнитных подшипников являются:

- возможность работы при высокой частоте вращения
- экономичность
- отсутствие потребности в смазке
- значительный ресурс и практическое отсутствие необходимости в техническом обслуживании во время эксплуатации

Все эти особенности привлекли внимание потребителей, прежде всего в тех отраслях, где роторные машины работают непрерывно или длительными циклами по несколько тысяч часов в условиях, затрудняющих их обслуживание и ремонт. Впервые системы магнитного подвеса в нашей стране были применены в компрессорах-нагнетателях, предназначенных для транспортировки природного газа, так как многие газоперекачивающие станции на длинных магистральных газопроводах располагаются в местах, удаленных от коммуникаций и населенных пунктов.[1]

В процессе эксплуатации электродвигателей возникают две проблемы: пуск и регулирование частоты вращения вала. В последнее время, в виду стремительного развития электроники, а также согласно курсу на снижения электропотребления, в решении этого вопроса широкое распространение получили двигатели с частотно-регулируемым электроприводом. Основными элементами частотного преобразователя являются полупроводниковые элементы: диоды, тиристоры и транзисторы. Режим работы таких элементов представляет собой режим многократных коммутаций под нагрузкой, что обуславливает нелинейность процесса и как следствие появление высших гармоник в сети.

В 2010 году проводились исследования по повышению эксплуатационной надежности технологического оборудования сети 10/0,4 кВ электропитания технологического оборудования пром. площадки «Пуртазовская»

В рамках договора было произведено осциллографирование фазных напряжений в сети питания магнитным подвесом. Основное питание магнитного подвеса резервировано дизельной электростанцией (ДЭС) «Звезда-1000». После перевода

питания на ДЭС существенно возросли гармонические искажения в сети. Основную роль в искажении вносит 5 и 7 гармоника 1 и 1,5 процента соответственно. На рисунке 1 представлена осциллограмма фазных напряжений при питании от основного источника и после перевода питания на ДЭС.

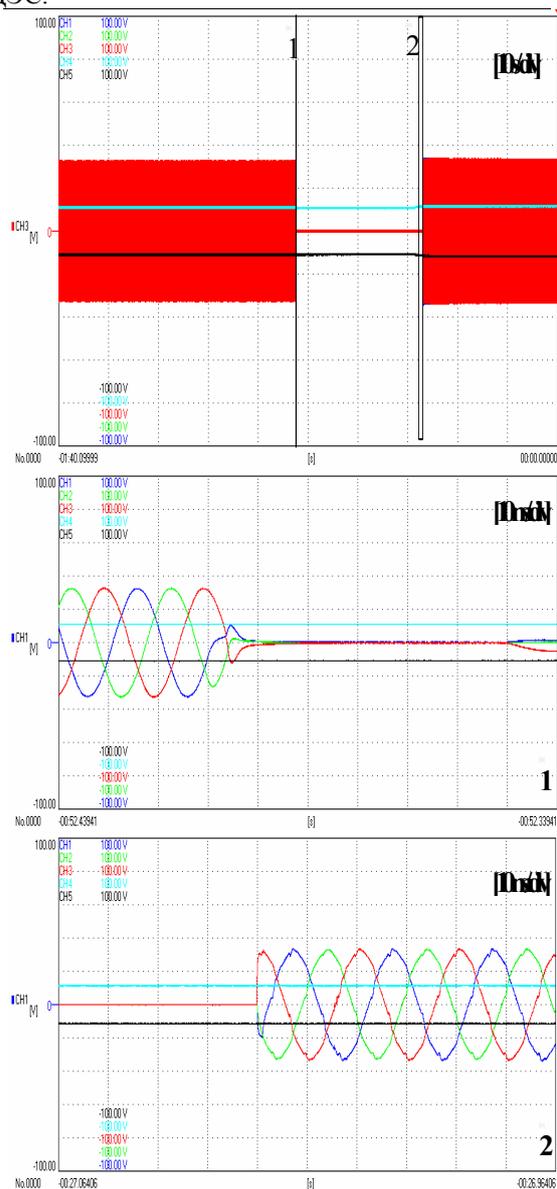


Рис. 1 – Осциллограммы фазных напряжений в цепях питания СУМП ~380 В и \approx 220 В, 1 - процесс отключения вводов 0,4 кВ КТП ПЭБ, 2 – включение ввода 0,4 кВ от ДЭС №41, (по оси ординат 200 В/дел)

Для исследования процессов в сети электропитания газоперекачивающих аппаратов была

построена модель участка сети в среде программы Matlab/Simulink. В результате моделирования в нормальном режиме гармонические искажения также характеризуются в основном 5 и 7 гармоникой.

Меняя величину нагрузки газоперекачивающего аппарата, мы получаем различную степень искажения питающего напряжения; зависимость содержания гармоник от величины нагрузки показана на рисунке 2.

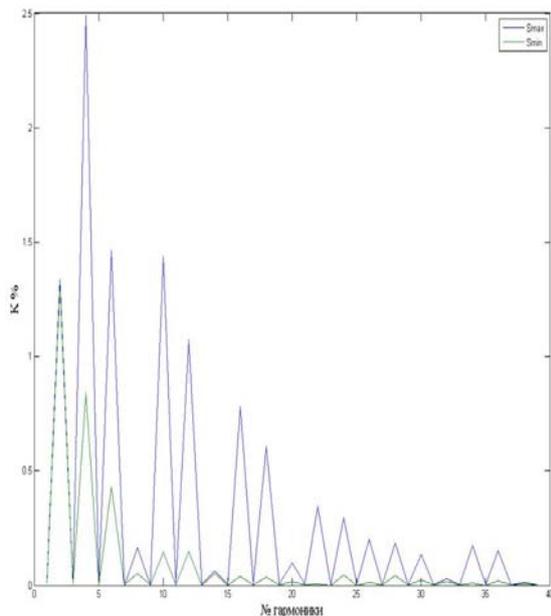


Рис. 2 - Зависимость насыщения напряжения гармониками от величины нагрузки.

Для улучшения качества электроэнергии и предотвращения аварийных ситуаций, было предложено применить Г-фильтр, установленный непосредственно в схеме питания помехоустойчивого магнитного подвеса, настроенный на частоту

среза $f_c=50$ Гц. Исходя из мощности нагрузки P кВт, получаем сопротивление нагрузки:

$$R = \frac{U^2}{P}$$

Выбор параметров фильтра:

индуктивность фильтра:

$$L = \frac{0,32 \cdot R}{f_c}$$

ёмкость фильтра:

$$C = \frac{320}{R \cdot f_c}$$

Согласно спецификации г-звеньев, параметры следует уменьшить в два раза. После установки Г-фильтра было получено снижение искажений 5 и 7 гармоники до 0,1 и 0,024 процентов соответственно.

Вывод:

На основе произведённых расчётов для различных режимов аварийного участка станции Пуртазовской были выданы рекомендации по предотвращению аварийных остановов связанных с помехоустойчивостью электрооборудования.

Литература.

- 1 <http://engine.aviaport.ru/issues/45/page16.html>

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Маров Д.Ю

Научный руководитель: Плотников И.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dimarik@sibmail.com

Россия – крупнейшая страна в мире по площади зон децентрализованного электроснабжения. Большинство этих территорий расположены в районах с суровыми климатическими условиями – Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север. Надежное энергообеспечение населения таких зон является важнейшей народнохозяйственной задачей, от успешного решения которой во многом зависит не только социально-экономическое развитие регионов, но и безопасность людей. Сегодня основу малой энергетики России составляют дизель-генераторы (ДГ) и дизельные электростанции (ДЭС). Как источники автономных систем электроснабжения, они обладают большими преимуществами, но и недостатками, а именно большим расходом органического топлива на выработку одного кВт·ч электроэнергии, загрязнением окружающей среды и пр. В то же время полноценной замены им нет.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование возобновляемых источников энергии и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Климатические и географические особенности децентрализованных зон определяют практическую возможность использования из всех видов возобновляемых энергоресурсов только энергию ветра. Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее перспективным вариантом построения автономных систем электроснабжения представляются ветро-дизельные энергетические установки.

Улучшить технико-экономические показатели ветро-дизельных электростанций (ВДЭС) можно путем:

1. построения электростанции по модульному принципу с подключением отдельных компонент к шине постоянного тока, что позволяет оптимально конфигурировать оборудование под конкретного потребителя, учитывая разнообразие последних;
2. перевода режима работы двигателя ДГ с постоянной скорости вращения на переменную в зависимости от нагрузки, что позволит снизить расход органического топлива (ориентировочно на 20%) и уменьшать себестоимость вырабатываемой электроэнергии;
3. управления балансом мощностей в системе, т.е. оптимальное перераспределение нагрузки между ДГ, ветроэнергетической установкой (ВЭУ) и буферным накопителем энергии (БНЭ), что повысит энергоэффективность работы генерирующего оборудования.

Возможны различные варианты сопряжения ДГ и ВЭУ при работе на общего потребителя, которые могут значительно различаться как по составу основного электрооборудования, так и по технико-экономическим характеристикам. Наиболее предпочтительным для электростанций мощностью 10 – 100 кВт, на наш взгляд, является способ объединения генерирующего оборудования с использованием промежуточной вставки постоянного тока.

Для проведения экспериментальных исследований гибридной электростанции с целью определения энергоэффективных режимов ее работы в Национальном исследовательском Томском политехническом университете был создан лабораторный комплекс «автономная ветро-дизельная электростанция».

Лабораторный комплекс состоит из семи функционально – законченных элементов (рис. 1): стенд дизель-генератора (1); стенд полунатурной модели ветроэнергетической установки (2); стенд буферного накопителя электроэнергии (3); силового шкафа (4); стенда натурального моделирования нагрузки автономного объекта электроснабжения (5); стенда моделирования двигательной (пиковой) нагрузки (6); информационно-измерительной системы (7).

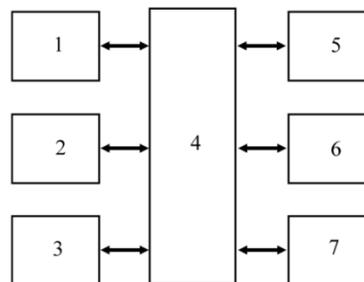


Рис. 1 – Структура лабораторного комплекса «автономная ветро-дизельная электростанция»

Одной из основных составных частей комплекса выступает стенд дизель-генератора (рис.2). Он предназначен для экспериментального исследования статических и динамических параметров ДГ, а также режимов работы последнего. Стенд построен на основе дизельной электростанции KDE12EA3 компании Kipor (КНР). Выбор обоснован тем, что дизельный двигатель данной электростанции имеет относительно небольшую мощность (12.5 кВт), но полноценную жидкостную систему охлаждения, что упрощает процесс исследований.



Рис. 2 – Внешний вид стэнда дизель-генератора

Для проведения экспериментальных исследований в конструкцию дизельной электростанции KDE12EA3 внесены изменения: штатный топливный бак был заменен мерным стаканом с ценой деления 10 мл; доработан привод исполнительного органа топливного насоса; установлена новая система регулирования тока возбуждения синхронного генератора.

Стенд полунатурной модели ветроэнергетической установки представляет собой управляемую систему «электродвигатель – генератор». Основу блока составляет электромеханический модуль состоящий из тандема механически связанных: двигателя постоянного тока с независимым возбуждением типа 4ПНМ132МО, аналогового датчика скорости вращения (тахогенератора) типа SA-757A-3A компании Servo-TekProducts, синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов типа ВГ-2(12)/450-48-1.

Для выравнивания резкопеременного графика нагрузки автономного потребителя применяется стенд буферного накопления электроэнергии, представляющий собой соединенные между собой аккумуляторные батареи, подключенные к шине постоянного тока через специальный DC/DC-преобразователь. Преобразователь представляет собой управляемое зарядно-разрядное устройство.

Для объединения отдельных блоков лабораторного стэнда в единое целое, коммутации силовых и сигнальных цепей, контроля и индикации режимов работы стэнда, подключения измерительной аппаратуры и преобразования электроэнергии из одного вида в другой был разработан силовой шкаф. В его состав входят: панель контроля и подключения; модуль датчиков тока трехполюсных (3 шт.); выпрямитель – преобразователь ДГ; выпрямитель – преобразователь ВЭУ; автономный инвертор напряжения Schaefer Elektronik GmbH и др.

Для анализа работы энергетического комплекса используется стенд натурного моделирования электрических нагрузок автономного потребителя [1]. Он представляет собой три одинаковые сек-

ции нагревательных элементов, управляемых посредством электронного коммутатора. В качестве рассеивающих мощность элементов выбраны трубчатые оребренные нагреватели мощностью 1 и 2 кВт по 7 штук в каждой секции. Охлаждение осуществляется принудительным обдувом воздухом посредством вентиляторов. Для управления стендом используется персональный компьютер с разработанным программным обеспечением.

Стенд двигательной нагрузки предназначен для моделирования двигательной (пиковой) нагрузки, которая составляет значительную долю мощности объекта автономного электроснабжения. Его использование позволяет оценить и исследовать динамические режимы работы всего энергетического комплекса. Конструктивно стенд состоит из двух отдельных узлов: электромеханического модуля и панели управления. Основу стэнда составляет электромеханический модуль. Он построен на основе двух асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором номинальной мощностью 2.2 и 0.75 кВт.

Для контроля и фиксации результатов лабораторных экспериментальных исследований используется информационно-измерительная система на основе персонального компьютера и модульных USB – приборов компании Agilent Technology. В настоящее время лабораторный комплекс изготовлен и прошел испытания, которые показали его работоспособность.

Описанный комплекс «ветродизельная энергетическая установка» не является полностью завершенным изделием. В процессе дальнейшей работы будет совершенствоваться. Планируется в систему подачи воздуха дизельного двигателя установить датчик расхода, а также аппаратуру химического анализа продуктов сгорания топливной смеси. Это позволит более полно определить границы области управления оборотами двигателя электростанции с целью снижения расхода топлива и продления срока службы электростанции в целом.

Данная работа выполнялась в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» по направлению «Новые и возобновляемые источники энергии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Обухов С.Г., Плотников И.А., Маров Д.Ю. Физическая модель электрических нагрузок автономных энергетических систем // Промышленные АСУ и контроллеры, 2011, №11, с.37-40.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬ–ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Милюхин С.А.

Научный руководитель: Обухов С.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: serg_19rus@mail.ru

По данным Минэнерго России из 50000 электростанций, функционирующих на территории России, 49000 относятся к малым. Основу малой энергетики России составляют дизельные электростанции (ДЭС), общее число которых превышает 47 тыс., что составляет около 96 % от общего числа малых энергетических установок.

Целевые индикаторы и показатели Государственной Программы РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» предусматривают годовую экономию первичной энергии на дизельных электростанциях в объеме не менее 0,84 млн. тонн условного топлива к концу 2020 года со снижением среднего расхода топлива до 356 г.у.т./кВт ч.

Добиться запланированных показателей Программы можно за счет вывода из эксплуатации дизельных электростанций, выработавших свой ресурс, строительства новых ДЭС с использованием современных технологий, модернизации ДЭС с использованием нового современного энергоэффективного оборудования и т.п.

Результаты предшествующих теоретических исследований показали возможность повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения, построенных на базе ДЭС, путем перевода режима работы дизельного двигателя с постоянной скорости вращения на переменную. Проведенные расчеты показывают, что при таком режиме работы дизеля обеспечивается существенная экономия (ориентировочно до 20%) дорогостоящего дизельного топлива, особенно в режиме малых нагрузок.

Целью настоящих исследований являлось экспериментальное определение оптимальных значений величины цикловой подачи топлива дизеля g_{ω} и тока возбуждения генератора i_f на частичных нагрузочных режимах дизель-генераторной установки (ДГУ).

Для проведения исследований был разработан и смонтирован в научно-исследовательской лаборатории Томского политехнического университета полунатурный стенд ветро-дизельной электростанции установленной мощностью 12 кВт.

Экспериментальный стенд построен на базе промышленной ДГУ Kiror KDE12EA3, состоящей из дизельного четырехтактного двигателя KM2V80 (номинальная частота вращения 3000 об/мин) и синхронного электрогенератора KTS12c независимым электромагнитным возбуждением.

Программа экспериментальных исследований включала в себя последовательное выполнение трех основных пунктов:

- определение режимных показателей ДЭС со

стандартной системой управления (постоянная частота вращения дизеля);

- определение режимных показателей ДЭС с проектируемой системой управления (переменная частота вращения дизеля);

- сравнительный анализ полученных результатов и определение оптимальных параметров регулирования.

Для управления подачей топлива дизельного двигателя при проведении экспериментов использовался штатный насос высокого давления. Положение рабочего органа (топливной рейки) насоса регулировалось шаговым электроприводом перемещения рейки. Электропривод позволяет поступательно перемещать рабочий орган топливного насоса высокого давления в диапазоне 0 ... 24 мм, с точностью позиционирования, не хуже ± 0.1 мм.

При проведении экспериментов регулировочный винт рейки топливного насоса для каждой серии экспериментов устанавливался в новое положение со смещением от предыдущего на 2 мм. Для характеристики положения регулировочного винта приняты следующие обозначения:

h_0 – рейка топливного насоса находится в исходном положении (заводская установка);

h_{-2} – рейка топливного насоса смещена на 2 мм от исходного положения в сторону уменьшения цикловой подачи топлива;

h_{+2} – рейка топливного насоса смещена на 2 мм от исходного положения в сторону увеличения цикловой подачи топлива, и т.д.

Величина электрической нагрузки генератора для каждого проводимого опыта устанавливалась при помощи специально созданного стенда моделирования нагрузок автономного потребителя, обеспечивающего дискретное изменение нагрузки в диапазоне от 0 до 15 кВт с шагом 0,25 кВт.

Значения выходного фазного напряжения генератора в проводимых экспериментах поддерживались в пределах 220-230В при условии, что величина тока возбуждения не превышает предельно допустимого значения для данного типа генератора – 3,0 А.

Результаты экспериментов фиксировались и обрабатывались с использованием программных пакетов Microsoft Excel 2010 и MatLab 2007. По результатам исследований строились рабочие характеристики ДГУ для различных режимов работы.

Проведенные эксперименты показали, что стандартная система управления режимами ДЭС обеспечивает устойчивую работу дизель-генератора (ДГ) в широком диапазоне изменения электрической нагрузки. Величина выходного на-

пряжения на зажимах генератора поддерживается в пределах 230-240 В. Максимальный удельный расход топлива наблюдается в режимах малых нагрузок и изменяется от 751 г/кВт·ч (при величине нагрузки в 20 % от номинальной) до 318 г/кВт·ч (при величине нагрузки 130 % от номинальной).

Перевод дизеля на переменную частоту вращения эффективен для режимов малых нагрузок. Проведенные эксперименты показали, что при загрузке дизеля на мощность, выше номинальной удельный расход топлива остается практически неизменным на рабочих частотах двигателя от 1000 до 3500 об/мин. Однако, при нагрузке дизеля на 20 % от номинальной удельный расход топлива можно уменьшить более, чем на 40 %: с 410 г/кВт·ч при 3000 об/мин до 255 г/кВт·ч при 2000 об/мин.

На рисунке 1 приведены полученные экспериментальные зависимости удельного расхода топлива от величины нагрузки дизель-генератора при постоянной и переменной частотах вращения.

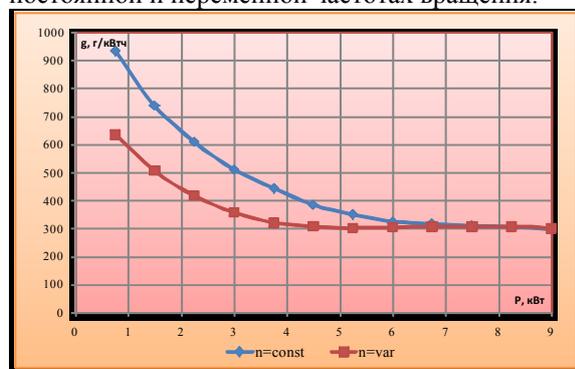


Рис. 1 – Удельный расход дизельного топлива от величины нагрузки дизель-генератора при постоянной и переменной частотах вращения

Результаты проведенных экспериментов подтвердили техническую возможность снижения удельного расхода топлива дизельным двигателем при переводе его на переменную частоту вращения. Для типового графика нагрузок, характерного для автономного потребителя, общая экономия топлива составит около 25 %.

В результате испытаний было установлено, что при работе дизель-генератора на переменной частоте вращения существуют эксплуатационные ограничения.

При снижении оборотов двигателя до значений ниже 2000 об/мин (60 % от номинальной скорости) рабочий режим характеризуется резким ростом вибрации двигателя, что ухудшает показатели долговечности его работы.

Минимальный удельный расход топлива соответствует смещению рейки топливного насоса на 14 мм от исходного положения (h_{-14}). Однако, при такой установке рейки, ДГ может покрыть электрическую нагрузку мощностью не более 2,8 кВт (30 % от номинальной). Выдача большей мощности ограничивается двумя основными факторами:

1. Для поддержания величины выходного напряжения ДГ в требуемых пределах (220-230 В), при большей нагрузке необходимо увеличивать ток возбуждения генератора до значений выше номинального, что не позволяет стандартная конструкция электрической машины.

2. При дальнейшем увеличении нагрузки все-режимный регулятор увеличивает подачу топлива до значений, при которых коэффициент избытка воздуха становится равным $\alpha = 1.2 \dots 1.3$, что приводит к резкому ухудшению процессов сгорания.

В результате проведенных экспериментов была получена функциональная зависимость, связывающую положение рейки топливного насоса с мощностью электрической нагрузки ДГ, при которой удельный расход топлива будет минимальным (рисунок 2).



Рис. 2 – Функциональная зависимость положения рейки топливного насоса от электрической нагрузки ДГ, обеспечивающая минимальный расход топлива

Теория подобия обосновывает возможность использования полученной функциональной зависимости для дизель-генераторных установок другого типоразмера. Практическая реализация, полученного закона управления положением рейки топливного насоса от нагрузки ДЭС позволяет минимизировать расход топлива электростанции. Данная работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» по направлению «Новые и возобновляемые источники энергии».

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В УПРАВЛЕНИИ СОСТАВОМ АГРЕГАТОВ ГЭС

Митрофанов С.В.

Научный руководитель: Секретарёв Ю.А. д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет

E-mail: Mitrofan_Serg@mail.ru

Введение

На сегодняшний день гидроэнергетика является единственным возобновляемым источником энергии, способным вырабатывать её в промышленных масштабах, поэтому развитие данной отрасли и повышение эффективности процесса производства электроэнергии на ГЭС является одной из стратегических задач развития энергетики.

Выделяют два основных технических подхода к повышению эффективности работы ГЭС:

1. Улучшение физической составляющей (разработка новых машин и механизмов);
2. Улучшение информационной составляющей (разработка новых систем и методов управления).

В статье рассмотрена задача повышения эффективности управления составом агрегатов ГЭС с помощью многокритериальной оптимизации на основе критериев эксплуатационной надежности и экономичности режима станции.

Формирование единого критерия эксплуатационной надежности гидроагрегата

В общем виде процесс управления составом агрегатов станции может быть представлен в виде двухкритериальной задачи:

$$U^* = DE(KStэ, KStн); \quad (1)$$

$KStэ, KStн$ - критерии текущей ситуации, определяющие надежность и экономичность режима работы станции; DE - свёртка, описывающая двухцелевое управление составом агрегатов на стационарном уровне.

Параметры, характеризующие эксплуатационную надежность гидроагрегата, достаточно многочисленны и имеют различную размерность и диапазоны измерений.

Для сравнения параметров различной размерности необходимо провести процедуры приведения, а также ранжирования параметров по степени важности. В качестве математического аппарата для реализации этих целей может быть использована теория нечетких множеств. Разработанная на её основе методика оценки эксплуатационного состояния агрегата, подробно представлена в работах [3,4].

В качестве основных этапов можно выделить:

1. Получение «базовых» оценок, под которыми понимают оценку важности (веса) контролируемых параметров блока вне зависимости от текущей ситуации, а определяемой только степенью ответственности контроля над отдельным узлом гидроагрегата.

$$B(\Pi_i) = (R_{ii}, i=1...n); \quad (2)$$

где i – номер контролируемого параметра Π , определяющего эксплуатационную надежность агрегата R_{ii} .

2. Получение текущих оценок, под которыми понимают оценку характеризующую степень эксплуатационной надежности агрегата в момент t . Очевидно, что эти оценки непосредственно определяются текущей ситуацией на станции.

$$T(\Pi_i) = (R_{ii}, i=1...k); \quad (3)$$

Источником информации о текущем состоянии параметров эксплуатационной надежности служат показания датчиков, производящих мониторинг узлов гидроагрегата.

3. Расчёт «результатирующих» оценок эксплуатационной надежности агрегата. Они могут быть получены путем наложения «текущих» оценок на «базовые» оценки контролируемых параметров.

$$J(\Pi_i) = (R_{ii}, B(\Pi_i), T(\Pi_i), i=1...n); \quad (4)$$

Впоследствии в качестве обобщенного критерия надежности выбирается один из результирующих параметров гидроагрегата, значения которого наиболее близки к аварийным.

$$L_{jk} = 1 - \max(J_k(\Pi_i)) \quad (5)$$

Формирование критерия экономичности режима работы гидроагрегата

В качестве параметра, определяющего экономичность режима работы гидроагрегата, может быть использован его КПД.

На сегодняшний день существуют два метода получения значений КПД гидроагрегата:

- Определение величины на основе эксплуатационных характеристик, полученных при испытаниях турбин в момент запуска в эксплуатацию.
- Непосредственное измерение количества энергоносителя, проходящего через турбину и построение натуральных энергетических характеристик в реальном времени.

После того, как значения КПД определены, следующим шагом является представление их в виде функции принадлежности. Для этого необходимо пронормировать и линеаризовать характеристику с помощью выражения (6).

$$L_{Uk} = \Delta a - (\eta^* - \eta_{min}) \Delta a / \Delta \eta \quad (6)$$

На основе полученной функции принадлежности производится определение значений экономичности гидроагрегата.

Получение единого критерия управления гидроагрегатами

После того, как будут сформированы критерии оценки надежности и экономичности для всех агрегатов, необходимо получить результирующую оценку эффективности режима для каждого из них с целью дальнейшего выбора номера агрегата,

эксплуатация которого наиболее или наименее целесообразна.

Для реализации процесса управления необходимо, чтобы система имела возможность моделировать как можно больше линий поведения при принятии решения, из которых персонал станции может выделить самые приоритетные.

Математический аппарат для решения этой проблемы предоставляет теория возможностей, сформулированная Д. Дюбуа и А. Прадом на основе теории нечетких множеств Л. Заде.

В [1] предложен достаточно большой набор свёрток критериев, которыми может пользоваться персонал при принятии того или иного решения. Оперативный персонал производит выбор одной или нескольких свёрток, на основе которой и производится управление.

Пример расчёта

В качестве исходной информации для расчёта базовых оценок эксплуатационных параметров агрегатов использованы таблицы уставок защит гидроагрегата СШГЭС. В результате анализа данных были отобраны 55 параметров, значения которых могут быть использованы для построения функций принадлежности и определения их приоритетности. В таблице 1. представлены 5 наиболее приоритетных параметров эксплуатационной надежности СШГЭС.

Таблица 1. Базовые оценки параметров эксплуатационной надежности

наименование параметра	Мера возможности ухудшения параметра, (POSб-Вп), о.е.
давление в кольцевых маслоохладителях генераторного подшипника	0,847
относительное радиальное виброперемещение вала в районе ТП в направлении ЛБ	0,625
расход воды через уплотнение вала	0,618
контроль расхода воды на охлаждение подпятника	0,382
абсолютное вертикальное виброперемещение ТП со стороны НБ	0,375

При учёте также текущих оценок для каждого параметра, значения которых поступают с датчиков систем мониторинга и контроля, могут быть сформулированы результирующие оценки, из которых и производится выбор обобщенного критерия эксплуатационной надежности на основе формулы (5).

Критерий экономичности определялся с помощью функции принадлежности построенной на основе эксплуатационной характеристики агрегата СШГЭС представленной на рис. 3а.

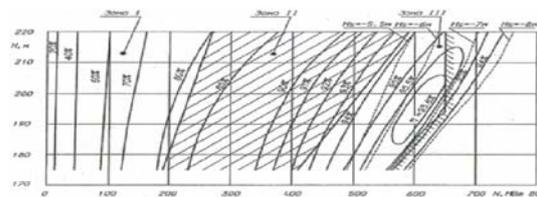


Рис. 3а. Эксплуатационная характеристика агрегата СШГЭС

С учётом того, что максимальное значение КПД агрегата равно 95,8% линеаризованная функция принадлежности будет иметь вид, представленный на рис. 3б.

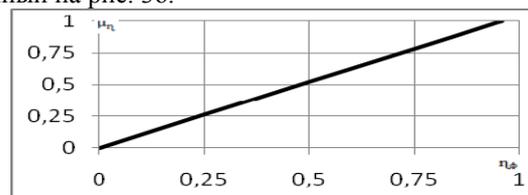


Рис 3б. Функция принадлежности КПД агрегата СШГЭС

Значения функции принадлежности, для какого либо фактического КПД могут быть определены на основе формулы (6).

Следующим шагом является выбор свёртки для формирования единого критерия управления.

С этой целью на СШГЭС была проведена экспертиза и опрошены 11 диспетчеров ЦПУ. В результате были выбраны две свёртки типа - \sqrt{UV} и $2UV/(U+V)$. Обе эти свёртки определяют среднее геометрическое и среднее гармоническое значения и приводят к формированию наиболее компромиссной стратегии управления агрегатами.

Литература

1. Д. Дюбуа, А. Прад. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. Пер. с фр. – М. Радио и связь, 1990 – 288 с.: ил.
2. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197с.
3. Секретарёв Ю.А. Ситуационное управление энергетическими объектами и процессами электроэнергетической системы. Монография – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 308 с. («Монографии НГТУ»).
4. Секретарёв Ю.А., Жданович А.А. Основные принципы и модели управления гидроагрегатами с учётом их эксплуатационного состояния. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – изд. СФУ 2010 3, - 322-334 с.
5. Митрофанов С.В. Оптимизация состава агрегатов ГЭС на основе теории возможностей. Наука. Технологии. Инновации. // Материалы всероссийской научной конференции молодых учёных в 6-ти томах. Новосибирск: Изд-во НГТУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ СИСТЕМ НАГРЕВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКСЕРОВ И ВНЕПЕЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Михайлов К.А., Матюшенко В.В.

Научный руководитель: Михайлов Д.А., к.т.н.

Политехнический институт «СФУ», 660074, Россия, г. Красноярск, ул. Киренского, 26 «б»

E-mail: 89080244641@mail.ru

В настоящее время в стационарных и поворотных электрических миксерах для приготовления сплавов на основе алюминия, а также в установках рафинирования алюминиевых сплавов типа SNIF, в качестве источников тепловой энергии широко применяются трубчатые электронагреватели. Такие электронагреватели состоят из двух частей: защитной трубы и нагревательного элемента, в котором происходит преобразование электрической мощности в тепловую [1].

На большинстве предприятий алюминиевой промышленности функцию регуляторов электрической мощности выполняют тиристорные регуляторы напряжения. Регулирование мощности в таких устройствах осуществляется при изменении величины напряжения питания на выходе U , а частота питающего напряжения f неизменна и составляет 50 Гц [2]. Следствием применения таких источников питания являются значительные вибрации, которые возникают при протекании через проводники переменного тока. Эти вибрации могут стать причиной разрушения керамических изоляторов электронагревателя. Авторами установлено, что наибольшие вибрации наблюдаются на стадии разогрева электронагревателей при температуре (50÷700) °С, а уровень шума на этой стадии может достигать (75÷80) дБ. Поэтому следует снижать воздействие сил Лоренца F^L [3]:

$$\vec{F}^L = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[\vec{J} \times \vec{B}], \quad (1)$$

где J – ток, А; B – магнитная индукция, Тл.

Величина силы Лоренца F^L зависит от питающего тока I и конфигурации расположения проводников в нагревательном элементе, которая, в свою очередь, зависит от множества факторов, основными из которых являются обеспечение необходимого уровня теплоотдачи и электрического сопротивления. Поэтому существенно влиять на силу Лоренца F^L можно изменяя величину токовой нагрузки I . С другой стороны, понижение токовой нагрузки I приведет к снижению величины электрической мощности P , что недопустимо с точки зрения теплового режима работы устройства. Увеличение частоты f позволит понизить токовую нагрузку I и сохранить выделение мощности P на требуемом уровне.

В качестве объекта исследования авторами был выбран электрический миксер САМ-5. Были рассмотрены три варианта наиболее широко применяемых сплавов высокого сопротивления в качестве

материала проводников нагревательных элементов: сплав системы Ni-Cr типа X20H80-H ($\rho_{Cr20Ni80}=1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), сплав системы Fe-Cr-Al типа GS23-5 ($\rho_{GS23-5}=1,45 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) [5, 6] и сплав системы Fe-Cr-Al типа Aluchrom фирмы «Rescal» (Франция) ($\rho_{Aluchrom}=1,35 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) [7].

В ходе проведения численного эксперимента к проводникам нагревательных элементов в качестве нагрузки прикладывался ток I . Величина токовой нагрузки J выбиралась такой, чтобы электрическая мощность единичного электронагревателя составляла 13,3 кВт, а суммарная электрическая мощность системы нагрева P была равной 120 кВт.

Диапазон изменения электрических параметров системы нагрева:

- ток I : (133÷204,5) А;
- напряжение питания $U_{н.э.}$: (65÷100) В;
- частота f : (50÷3500) Гц;
- удельное электрическое сопротивление сплавов проводников ρ_{np} : (1,1÷1,45)·10⁻⁶ Ом·м.

При проведении исследований принималось, что: 1) удельное сопротивление сплавов проводников неизменно; 2) относительная магнитная проницаемость сплавов проводников равна единице; 3) диаметр проводников D_{np} =8 мм.

Граничные условия (рис. 1) задаются на границе раздела расчетной области и окружающей среды с идеальными магнитными свойствами ($\mu_a=\infty$) и включают приложение касательной и нормальной составляющих магнитного векторного потенциала равных нулю: $\partial \vec{A}_\tau / \partial n = 0$, $\vec{A}_n = 0$.

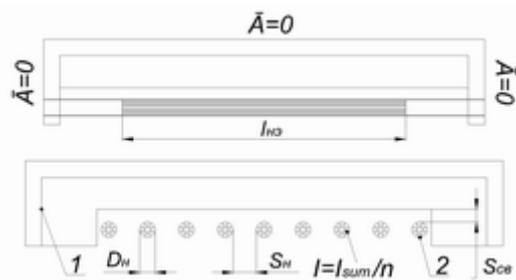


Рис. 1. Схема численной модели в области системы нагрева: 1 – теплоизоляционный слой; 2 – нагревательные элементы

Расчет электромагнитного поля производился в программном комплексе ANSYS Multiphysics с построением полноразмерных 3D моделей. Сетки моделей были построены с применением языка ANSYS ADPL. Расчетная модель содержала примерно 50,5 тысяч элементов SOLID 97 и, соответственно, 53,6 тысяч узлов.

В ходе исследований было установлено, что во всем частотном диапазоне наименьшие значения максимума сил Лоренца F^L_{max} возникают в проводниках из сплава типа GS23-5 (обладает наибольшим удельным электрическим сопротивлением), а наибольшие значения – у сплава типа X20H80-N. Причем отношение $F^L_{max X20H80H} / F^L_{max GS23-5}$ неизменно в диапазоне частот $f=(50\div 1500)$ Гц и составляет 1,32. Экстремум данной функции наблюдается при частоте $f=1500$ Гц, при которой данное отношение начинает уменьшаться и достигает своего минимума равного 1,15 при $f=3500$ Гц.

Анализ кривых $I=F(f)$ (рис. 2) показывает, что с ростом частоты f протекающий через проводники ток снижается для всех трех типов сплавов: для GS23-5 на 25%, для Aluchrom на 27% и для X20H80-N на 32%. Кроме этого, с ростом частоты f отношение тока $I_{X20H80H} / I_{GS23-5}$ для сплавов типа GS23-5 и X20H80-N снижается от 1,15 до 1,04.

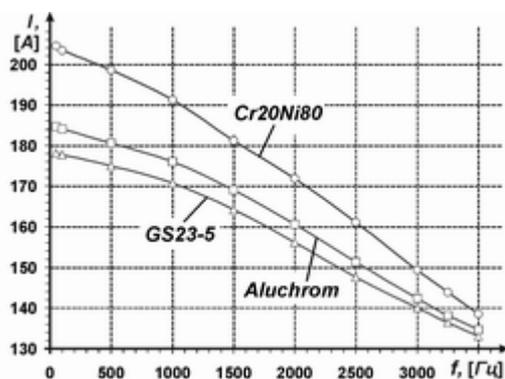


Рис. 2. Зависимость тока I от частоты f

Также было оценено изменение коэффициента мощности $\cos\varphi$ системы нагрева в исследуемом диапазоне частот. С ростом частоты коэффициент мощности $\cos\varphi$ системы нагрева для сплавов типа GS23-5, Aluchrom и X20H80-N снижается экспоненциально и имеет наименьшее значение (не более 0,27) на частоте $f=3500$ Гц.

Численное моделирование электромагнитного поля системы нагрева показало, что питание системы нагрева частотой (100÷3500) Гц позволяет снизить ток I и силы Лоренца F^L на 25% и 28% соответственно при сохранении электрической мощности P на требуемом уровне. При этом наблюдается существенное снижение коэффициента мощности $\cos\varphi$ (до 74%), что делает неэффективным использование источников питания высокой частоты.

С другой стороны, применение в качестве материала проводников сплавов с более высоким удельным сопротивлением ρ_{np} позволяет питать электронагреватели меньшим током, который может быть снижен в зависимости от частоты питающего напряжения f на 4-12%. Снижение токовой нагрузки позволит понизить электрические потери во внутрицеховой сети на участке от источника питания до миксера $\Delta P^{эл}_n$. Эти потери складываются из следующих составляющих:

$$\Delta P^{эл}_n = \Delta P^{учм}_n + \Delta P^{м.н.}_n + \Delta P^{э.к.}_n, \quad (2)$$

где $\Delta P^{учм}_n$ – потери источника тока, Вт; $\Delta P^{м.н.}_n$ – потери в токоподводе, Вт; $\Delta P^{э.к.}_n$ – потери в гибком контакте, Вт.

Если принять, что потери $P^{учм}_n$ составляют 2% от электрической мощности P , сопротивление внутрицехового токоподвода $R^{м.н.}$ равно 0,01 Ом, а суммарное сопротивление гибких контактов не более 0,03 Ом, то снижение электрических потерь для одного миксера составит в среднем 6,5 МВт·ч за год при снижении токовой нагрузки на электронагревателях I с 204 А до 178 А.

Список использованных источников

1. Михайлов, Д. А. Повышение надежности и эффективности систем электронагрева электрических миксеров и внепечного оборудования / Д. А. Михайлов, А. А. Темеров, В. Н. Тимофеев // Цветные металлы-2011: сб. научн. статей. – Красноярск: ООО «Версо», 2011. – С. 634-639
2. Яров, В. М. Источники питания электрических печей сопротивления: уч. пособие / В. М. Яров – Чебоксары: типография Чувашского государственного университета, 1982. – 123 с.
3. Jackson J. D. Classical Electrodynamics. Third edition. / J. D. Jackson – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. – 815 p.
4. Жуков, Л. Л. Сплавы для нагревателей / Л. Л. Жуков, И. М. Племянникова, М. Н. Миронова и др. – М.: Металлургия, 1985. – 144 с.
5. Sims C. T. Superalloys II: High Temperature Materials for Aerospace and Industrial Power / C. T. Sims, N. S. Stoloff, W. C. Hagel – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987. – 615 p.
6. [Http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=Aluchrom](http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=Aluchrom).

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНО-ЯКУТСКОГО РЕГИОНА

Назаралиева П.Б.

Научный руководитель: Киушкина В.Р., к.т.н.
ТИ (ф) ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова»,
678960, Республика САХА (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16
E-mail: angel0803_91@mail.ru

Топливо-энергетический комплекс играет огромную роль в жизнеобеспечении населения и является важнейшей структурной составляющей развития производительных сил страны и ее регионов. В энергетической стратегии России на период до 2020 года ставится цель достижения максимальной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для роста экономики и повышения качества жизни народа. Президент Российской Федерации в своем послании Федеральному Собранию Российской Федерации вновь заострил внимание на необходимости ускоренного технологического обновления энергетики, обеспечивающего выход ее на современные, отвечающие уровню развитых стран, рубежи энергетической эффективности и энергосбережения. В то же время пока отсутствуют согласованные и системные оценки эффектов долгосрочного развития ТЭК Дальнего Востока, куда входит Южно-Якутский регион, обусловленных реализацией крупно - масштабных экспортно-ориентированных проектов, формированием комплексной инфраструктуры топливно- и энергоснабжения, стимулированием энергосбережения и использование возобновляемых источников энергии, усилением стандартов воздействия на окружающую среду [1].

Основные факторы, сдерживающие развитие ТЭК:

- высокая степень износа основных фондов (более 50%). Наблюдается высокая аварийность оборудования, обусловленная низкой производственной дисциплиной персонала, недостатками управления, а также старением основных фондов. В связи с этим возрастает возможность возникновения аварийных ситуаций в энергетическом секторе;

- сохраняющийся в отраслях комплекса дефицит инвестиционных ресурсов и их нерациональное использование. При высоком инвестиционном потенциале отраслей ТЭК, приток в них внешних инвестиций составляет менее 13% от общего объема финансирования капитальных вложений. При этом 95% указанных инвестиций приходится на нефтяную отрасль. В газовой промышленности и в электроэнергетике не создано условий для необходимого инвестиционного задела, в результате чего эти отрасли могут стать тормозом начавшегося экономического роста;

- деформация соотношения цен на взаимозаменяемые энергоресурсы привела к отсутствию конкуренции между ними и структуре спроса, харак-

теризующейся чрезмерной ориентацией на газ и снижением доли угля. Политика поддержания относительно низких цен на газ и электроэнергию в перспективе может иметь следствием нарастание дефицита соответствующих энергоресурсов в результате отсутствия экономических предпосылок для инвестирования в их производство и опережающего роста спроса;

- отставание производственного потенциала ТЭК России от мирового научно-технического уровня. Доля добычи нефти за счет современных методов воздействия на пласт и доля продукции нефтепереработки, получаемой по процессам, повышающим качество продукции, низка. Энергетическое оборудование, используемое в газовой и электроэнергетической отраслях, неэкономично. В стране практически отсутствуют прогрессивные парогазовые установки, установки по очистке отходящих газов, крайне мало используются возобновляемые источники энергии, оборудование угольной промышленности устарело и технически отстало, недостаточно используется потенциал атомной энергетики;

- отставание развития и объективный рост затрат на освоение перспективной сырьевой базы добычи углеводородов, и особенно газовой промышленности;

- отсутствие рыночной инфраструктуры и цивилизованного, конкурентного энергетического рынка. Не обеспечивается необходимая прозрачность хозяйственной деятельности субъектов естественных монополий, что негативно сказывается на качестве государственного регулирования их деятельности и на развитии конкуренции;

- сохраняющаяся высокая нагрузка на окружающую среду от топливно-энергетической деятельности. Несмотря на произошедшее за последнее десятилетие снижение добычи и производства топливно-энергетических ресурсов, отрицательное влияние ТЭК на окружающую среду остается высоким;

- высокая зависимость нефтегазового сектора и, как следствие, доходов государства, от состояния и конъюнктуры мирового энергетического рынка. Наблюдается тенденция к дальнейшему повышению доли нефти и газа в структуре российского экспорта, вместе с тем, недостаточно используется потенциал экспорта других энергоресурсов, в частности электроэнергии. Это свидетельствует о продолжающемся сужении экспортной специализации страны и отражает в достаточной степени отсталую структуру всей экономики России;

- отсутствие развитого и стабильного законодательства, учитывающего в полной мере специфику функционирования предприятий ТЭК [4].

На сегодняшний день остается актуальным вопрос разработки рекомендаций для прогнозирования ТЭК Южной Якутии с учетом предпосылок и особенностей социально-экономического развития региона.

Это требует решения следующих задач:

- изучить и обобщить методы прогнозирования энергетического хозяйства региона;

- исследовать предпосылки, определяющие направления развития ТЭК Южно-Якутского региона в долгосрочной перспективе с учетом природно-ресурсных, энерго-производственных, региональных, национальных факторов формирования энергетической динамики;

- разработать производственно-экономическую модель перспективного развития ТЭБ Южно-Якутского региона для анализа и оценки показателей альтернативных сценариев долгосрочного развития ТЭК Южно-Якутского региона;

- определить в терминах разработанной методики сценарного прогнозирования основные факторы, условия и приоритеты развития ТЭК Южной Якутии в долгосрочной перспективе, сформировать на их основе непротиворечивые, экономически приемлемые сценарии развития ТЭК региона на период до 2020 г.;

- провести сравнительную оценку альтернативных сценариев развития ТЭК Южной Якутии по основным целевым показателям, отражающим приоритеты в энергетической политике региона.

Сценарий прогнозирования развития ТЭК региона потребует решения следующих вопросов:

1) Анализ современного состояния энергетики региона, характеристика базовых предпосылок развития ТЭК региона;

2) Выявление факторов и условий, определяющих перспективы ТЭК региона;

3) Выбор концепции и логики формирования конкурирующих сценариев развития ТЭК региона;

4) Структуризация факторов и условий, приоритетов развития ТЭК региона для каждого сценария;

5) Количественное моделирование сценариев (параметризация сценарных условий, разработка прогнозных ТЭБ, расчет целевых показателей);

6) Анализ и сравнительная оценка сценариев развития ТЭК региона.

Методика позволяет структурировать условия и факторы развития ТЭК региона в разрезе четырех типов:

- внешних параметров, являющихся экзогенными, слабо подконтрольными для субъектов энергетической политики региона;

- структурных показателей и проектных решений в области энергоснабжения, доступных для контроля и изменений мерами и инструментами энергетической политики региона;

- параметров энергетической политики, отражающих содержание и характер регулирующих воздействий федеральных и региональных властей на территориально-производственную структуру ТЭК региона;

- целевых приоритетов энергоснабжения, представляющих собой актуальные приоритеты и критерии развития ТЭК региона.

Разработанные рекомендации и методы для прогнозирования регионального ТЭК и динамическая производственно-экономическая модель ТЭБ региона могут использоваться для исследования стратегических перспектив развития ТЭК региона. Полученные прикладные результаты могут быть использованы федеральными и региональными органами исполнительной власти, при разработке концепции и стратегии развития ТЭК Южной Якутии, формировании региональной энергетической политики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулидов Р.В. Прогнозирование долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса Дальнего Востока: Автореф. дис...канд. экон. наук.-Хабаровск, 2006.-30с.

2. Ильин С.И. Резервы повышения эффективности топливно-энергетического комплекса: Автореф. дис...канд. экон. наук.-М.,2007.-18с.

3. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 29 октября 2009 года №441. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года.-Якутск,2009.

4. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: Минэнерго России.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС ПОМЕЩЕНИЯ

Овчинникова Н. А., Коржнева Т.Г.

Научные руководители: Ушаков В.Я. профессор, д.т.н., Овчаров А. Т., профессор, д.т.н.,
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ovchinnikova_na_88@sibmail.com

Комфортные условия труда во многом зависят от рационального освещения помещения. Рациональное освещение способствует улучшению самочувствия, настроения, повышая тем самым производительность и безопасность работ.

Наиболее благоприятным для человеческого глаза является естественный свет. Учитывая светоклиматические особенности региона можно в значительной мере повысить эффективность использования ресурса дневного света, что позволит создать оптимальные условия труда и даст существенный экономический эффект. В современной архитектуре самым распространенным способом освещения помещения естественным светом все еще остаются вертикальные окна. Актуальной проблемой в этом направлении является определение оптимальных размеров световых проёмов. Увеличение световых проёмов зданий, без учета их прямого назначения и условий светового климата приводит к резкому дискомфорту и большим тепловым потерям [3].

Количество тепловых потерь существенно зависит от теплофизических свойств самого стеклопакета. Теплоизолирующую способность стеклопакетов оценивают по величине термического сопротивления R_0 . Чем выше термическое сопротивление, тем лучшими теплозащитными свойствами обладает стеклопакет. Согласно СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» для Томской области значение термического сопротивления R_0 должно быть не менее $R_0 \text{ треб.} = 0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{С}^\circ/\text{Вт}$.

Рассмотрим теплопотери через конструкции стеклопакетов, отвечающие этому требованию: стеклопакеты с двойным остеклением (термический коэффициент 0,58), с заполнением аргоном (0,65), с заполнением криптоном (0,84).

Потери тепла на 1 м^2 площади остекленной поверхности за отопительный период рассчитывается по формуле согласно методике [5]

$$Q_T / A_F = (1/R) \cdot \text{ГСОП} \cdot 24, \text{ где}$$

Q_T – потери тепла, кВт·ч;

A_F – площадь окна, м^2 ;

R – термический коэффициент, $\text{м}^2 \cdot \text{С}^\circ/\text{Вт}$;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, град·сут

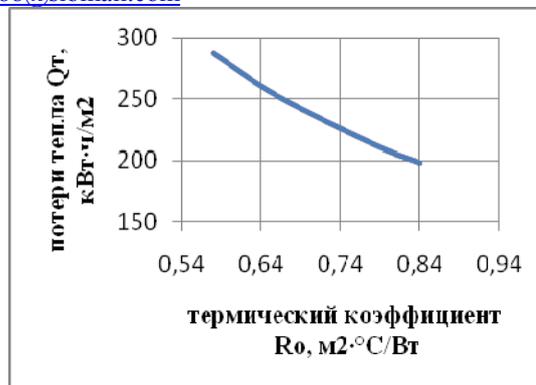


Рисунок 1. Зависимость тепловых потерь от термического коэффициента

Исходя из данных построенного графика можно заключить, что потери тепла через окно, обладающее лучшими теплофизическими характеристиками (с заполнением криптоном марки К4-Кг16-К4) составляют $198 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$

Распределение естественной освещенности, создаваемой традиционными вертикальными окнами, обладает высокой неоднородностью, ввиду асимптотического характера распределения. Поэтому для увеличения естественной освещенности в глубине помещения необходимо значительно увеличивать размеры оконного проема, что приводит к увеличению освещенности, комфортной световой среде и экономии электрической энергии на искусственное освещение. Однако любое увеличение площади прозрачных конструкций ведет к охлаждению и/или нагреванию помещения, вызванных инфильтрацией и трансмиссионными потерями, что может свести на нет достигнутую экономию электроэнергии.

В связи с реконструкцией и вводом в хозяйственный оборот помещений бывших производственных зданий, возникают ситуации, когда естественной освещенности либо недостаточного уровня, либо отсутствует полностью. Ограниченность расположения вертикальных окон, продиктованная какими-либо техническими или экономическими причинами, в совокупности с необходимостью увеличения естественной освещенности определяет необходимость использования верхнего естественного света на основе полых световодных систем (ПТС).

ПТС состоит из светособирающего купола, флешинга (адаптера под различные типы кровли), световода, обеспечивающего почти идеальную светопередачу, и диффузора (светорассеивателя),

который устанавливается в потолке освещаемого помещения.

В настоящем докладе рассматривается система Solatube Daylighting System основанная на передаче максимального количества солнечного света, благодаря наибольшему коэффициенту отражения 99,7%.

Кроме того, благодаря системам Solatube в значительной мере снижаются потери тепла.

Сравним теплопотери от стандартного вертикального окна и теплопотери от системы Solatube Daylighting System для офисного помещения площадью 40 м². Норматив по коэффициенту естественной освещенности (КЕО) при боковом свете для такого помещения соблюдается при площади остекленной поверхности не менее 8 м². Таким образом, теплопотери через окна за отопительный период в данном помещении будут равны $198 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot 8 \text{ м}^2 = 1584 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Теперь рассмотрим для того же помещения теплопотери в системе Solatube Daylighting System. Для обеспечения норматива КЕО при верхнем освещении потребуется 9 световодов диаметром $d = 530 \text{ мм}$ (общая площадь верхнего света составляет $1,98 \text{ м}^2$). Потери тепла через всю систему составят $125 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ [1]. Благодаря малой площади светособирающего купола по сравнению с площадью вертикального окна удается снизить потери тепла в помещении более чем в 10 раз.

Приведем некоторые оценки эффективности различных систем естественного освещения. При использовании вертикальных окон убытки от потерь тепла через светопроемы составили 1670 рублей, то есть примерно 18 % от суммы, выплаченной за отопление в течение всего отопительного сезона. При использовании системы Solatube Daylighting System убытки от потерь тепла через конструкцию системы составляют 135 рублей или 1,5 % стоимости всего отопительного сезона.

Учитывая тепловые потери через светопроемы на протяжении отопительного сезона, необходимо учесть также и теплопоступления в теплое время года. Величина теплопоступлений напрямую зависит от коэффициента солнечных теплопоступлений:

- при одинарном остеклении значение этого коэффициента равно 0,87
- при двойном остеклении с заполнением аргоном – 0,30

В то время как для световодов средняя величина коэффициента тепловых поступлений равна 0,18 [1].

Соответственно, через окно с двойным остеклением и заполнением аргоном, теплопоступления в помещение будут выше примерно в 2 раза, чем теплопоступления через равную по площади конструкцию системы Solatube Daylighting System. При расположении вертикального окна с солнечной стороны здания или же при большой площади окна, затраты на кондиционирование и вентиляцию в помещении на протяжении теплого времени года могут быть сопоставимы, а в некоторых случаях и превосходить затраты на потери тепла через эти светопроемы в зимний период.

Сравнивая эти различные системы освещения, можно сделать вывод о том, что новые светопроводные системы имеют достаточно небольшое воздействие на тепловой баланс помещения

Таким образом, преимущества системы Solatube Daylighting System не ограничиваются их экономической эффективностью в части уменьшения затрат на искусственное освещение в дневное время суток. Немаловажна роль этой системы в экономии тепловой энергии, а также электроэнергии, потребляемой кондиционерами и вентиляторами ввиду непомерных теплопоступлений в помещения через вертикальные окна. Главным же преимуществом таких систем остается возможность освещать помещения естественным светом в дневное время, благотворно влияя на производительность труда работников, а, следовательно, и на качество произведенных ими товаров или услуг.

Список литературы:

1. Дженнаро Бракале, естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «Solarspot» Светотехника, 2005, №5, с. 34-41
2. Ю. Н. Селянин, «Технология Solatube Daylighting System — инновационный путь повышения энергетической эффективности и комфорта современных зданий», «СтройПРОФИль», 2011 г., №4
3. <http://www.superp-hantom.ru/arh/0035/30/>
4. И.В. Борискина, А.А. Плотников, А.В. Захаров «Проектирование современных оконных систем гражданских зданий», Ж: ОКНА, ДВЕРИ, ВИТРАЖИ, 2010г., №2
5. СНиП П-3-79* «Строительная теплотехника.

АНАЛИЗ МЕР ПО ОТСТРОЙКЕ ОТ ВНЕШНИХ КЗ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ ГЕНЕРАТОРА ТЕРМИНАЛА SEPAM 80

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: osintsev@list.ru

Продольная дифференциальная токовая защита генератора (ДЗГ) – защита с абсолютной селективностью, сравнивающая вторичные токи трансформаторов тока (ТТ), установленных по концам защищаемого объекта. Результат сравнения токов защитой корректен лишь тогда, когда первичные токи трансформируются во вторичную цепь с достаточной точностью.

Стоит отметить, что во время экстремального переходного процесса в первичной сети высокая вероятность насыщения сердечников ТТ аperiodической составляющей тока КЗ, т.е. искажения входного сигнала защиты и, как следствие, нарушения устойчивости функционирования ДЗГ.

Вышеизложенное заставляет разработчиков микропроцессорных устройств релейной защиты принимать различные меры, повышающие отстроенность ДЗГ от внешних КЗ.

Во-первых, большинство применяемых алгоритмов микропроцессорных устройств ДЗГ используют только основную гармонику токов плеч, т.е. средствами цифровой фильтрации, подавляются аperiodическая и высшие гармонические составляющие. В таких защитах рабочим сигналом является модуль дифференциального тока, рассчитываемый как векторная сумма первых гармоник токов плеч, получаемых от ТТ, установленных по концам фазных обмоток статора:

$$I_D = |\dot{I}_1 + \dot{I}_2|.$$

Во-вторых, для отстройки от токов небаланса используется принцип торможения. Практически при всех способах получения тормозного сигнала, являющегося функцией токов плеч, ставится цель снижения торможения в режиме внутреннего КЗ с обеспечением достаточного торможения при внешних КЗ для отстройки от токов небаланса. У всех используемых разработчиками способов формирования тормозного сигнала имеется общий недостаток, заключающийся в снижении тормозного сигнала при насыщении ТТ защиты, то есть именно в тот момент, когда резко возрастает ток небаланса. Поэтому все производители в своих алгоритмах ДЗГ используют дополнительные средства отстройки от неправильных действий в переходных режимах внешних КЗ.

В алгоритме ДЗГ терминала Sepam 80 производства Schneider Electric тормозной сигнал определяется по основным гармоникам токов плеч следующим образом [1]:

$$I_T = |\dot{I}_1 - \dot{I}_2|.$$

Тормозная характеристика ДЗГ приведена на рис. 1. Условия срабатывания защиты описываются следующим образом [1]:

$$\begin{cases} I_D^2 - \frac{I_T^2}{32} > I_S^2, & I_T \leq \sqrt{2}I_{nom}, \\ I_D^2 - \frac{I_T^2}{32} > \left(\frac{I_{nom}}{20}\right)^2, & I_T > \sqrt{2}I_{nom}, \end{cases}$$

где I_S – начальный ток срабатывания защиты (единственная регулируемая уставка).

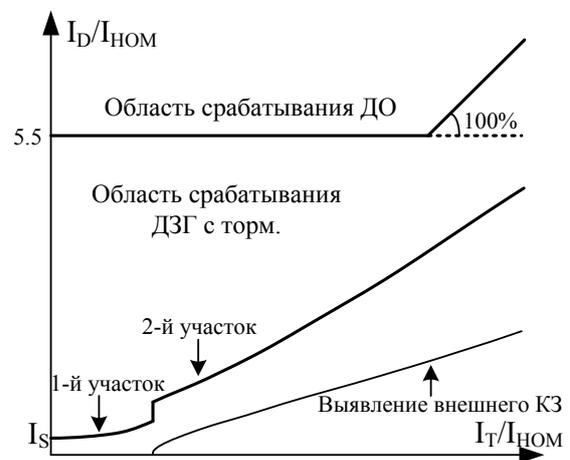


Рис.1. Тормозная характеристика ДЗГ Sepam 80

Для повышения эффективности функционирования в алгоритме ДЗГ реализован блок выявления внешнего КЗ, суть которого заключается в следующем: при внешнем КЗ сквозной ток значительно превышает $1.5I_{НОМ}$, и пока ТТ ненасыщен, дифференциальный ток ДЗГ незначителен. В алгоритме защиты такое состояние выявляется по следующему условию [1]:

$$\frac{I_D^2}{2} - \frac{I_T^2}{32} < \left(\frac{I_{nom}}{4}\right)^2.$$

Для обеспечения устойчивости алгоритма ДЗГ при выявлении внешнего КЗ вводится задержка срабатывания 200 мс. Однако данная блокировка не распространяется на действие дифференциальной отсечки (ДО), условия срабатывания которой приведены на рис. 1 [1].

Для оценки эффективности используемых мер отстройки от токов небаланса, а также алгоритма функционирования в целом, проведен анализ алгоритма функционирования ДЗГ при внешних КЗ. Для этого использован программный комплекс

имитационного моделирования переходных процессов в цепях ТТ, позволяющий получать вторичные токи ТТ, поступающие в защиту [2]. Следует отметить, что объектом испытаний является математическая модель алгоритма ДЗГ, а не само устройство, поэтому анализ носит качественный характер, так как не учитывает тех свойств алгоритма, которые не отражены в документации.

В качестве примера рассмотрено поведение модели алгоритма исследуемой ДЗГ при внешнем трехфазном КЗ кратностью $3.3I_{НОМ}$, где в качестве защищаемого объекта принят генератор ТВВ-320-2. Особенностью этого генератора является наличие расщепленной обмотки статора, в каждую ветвь которой со стороны нейтрали установлен отдельный ТТ.

Уставка начального тока срабатывания защиты выбрана из условия отстройки от максимального установившегося тока небаланса в нагрузочном режиме по следующему выражению:

$$I_S = k_H \cdot \varepsilon_i \cdot k_{odn} \cdot I_{nom} = 2 \cdot 0.1 \cdot 1 \cdot I_{nom} = 0.2 I_{nom}.$$

На рис. 2 приведены результаты моделирования. Здесь показаны первичные и вторичные токи плеч, приведенные к вторичной стороне ТТ, и результирующий дифференциальный ток в фазе «А». На рис. 3 приведен годограф рабочего тока, построенного в осях тормозного и дифференциального сигналов, и осциллограмма выходного контакта исследуемой защиты.

Из представленных рисунков видно, что ТТ со стороны нулевых выводов насыщаются значительно раньше, чем ТТ со стороны линейных выводов, из-за более сложных условий функционирования. В этот период рабочий ток переходит в область срабатывания, однако задержка в срабатывании на 200 мс не позволяет защите сработать. Следует также отметить, что рабочий ток кратко-

временно попадает в область срабатываний ДО и вызывает кратковременное срабатывание защиты. Это обусловлено опрокидыванием фазы вторичного тока насыщенного ТТ.

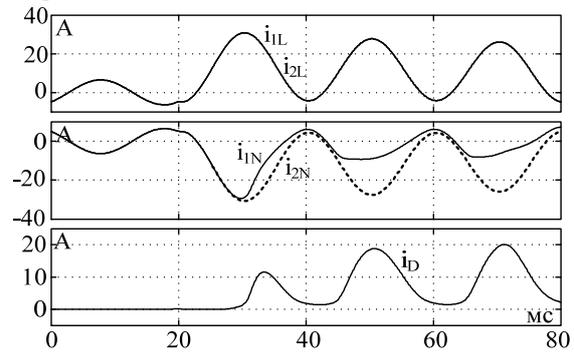


Рис.2. Осциллограммы первичных, вторичных и дифференциального токов

Выводы:

1. Использование в алгоритме ДЗГ отстройки по времени от внешнего КЗ на 200 мс, несмотря на её эффективность, может приводить к значительным задержкам в срабатывании при переходе внешнего КЗ во внутреннее.

Предложенный метод исследования ДЗГ позволяет сопоставлять устройства различных производителей по эффективности средств обеспечения устойчивости к внешним КЗ

Список литературы:

1. Sepam series 80. Protection, metering and control functions / User's manual 03.
2. Глазырин В.Е., Осинцев А.А. Моделирование переходных процессов в цепях дифференциальной защиты генератора. // Электро, 2011. – № 3. – С. 9–13.

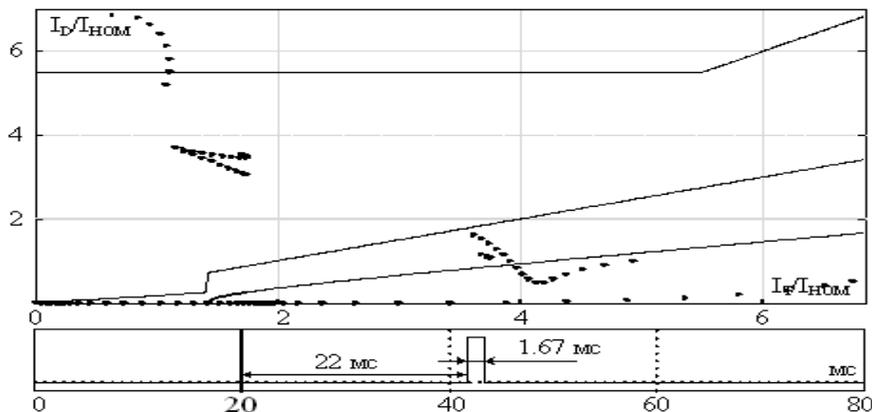


Рис. 3. Осциллограммы сигналов модели Диф.ЗГ Sepam 80

АКТИВАЦИЯ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

Осокин Г.Е.

Научный руководитель: Ушаков В.Я., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30
osokingeorge@gmail.com

Введение

Технологии, основанные на активации химических процессов с применением электрических разрядов вызывают растущий интерес исследователей: электрические разряды находят применение в процессах очистки питьевых и сточных вод, топочных газов, обеззараживания сред и пр.

Перспективным направлением применения электроразрядных технологий является активация гидрометаллургических процессов выщелачивания металлов (например, урана), направленная на увеличение степени извлечения и скорости процесса. В большинстве случаев металл находится в виде трудновсвобождаемых минералов и для их перевода в растворимую форму требуется применение окислителей.

Основным окислителем в растворах выщелачивания, как правило, выступают ионы трехвалентного железа, которые на практике практически всегда сопутствуют урану в руде. Для перевода железа в состояние Fe^{3+} используют химические реагенты: соли азотистой кислоты, пероксид водорода, пиролюзит и пр.

Ранее неоднократно предпринимались попытки создания безреагентных методов активации процессов выщелачивания: разными авторами предложено использовать озонирование, облучение потоками ускоренных электронов и пр. [1]. Однако эти методы до сих пор не получили широкого применения из-за недостаточной эффективности высоких капитальных затрат и пр.

Данная работа представляет результаты по активации растворов выщелачивания искровым разрядом в двухфазной среде.

Экспериментальная установка

В наших экспериментах электроразрядной обработке подвергались сернокислые растворы выщелачивания, содержащие ионы железа ($[H_2SO_4] = 5$ г/л, $[Fe_{общ}] = 4-7$ г/л). Растворы пропускались через установку электроразрядной обработки, схема которой более подробно описана в [2]. Раствор диспергировался на капли при помощи форсунки в реакторе, в котором горел искровой разряд. Обработанные растворы использовались для сравнительного выщелачивания урана. Схема проведения выщелачивания приведена на рисунке 1.

Перед выщелачиванием осуществлялось закисление рудного материала раствором серной кислоты концентрацией 30 г/л, в ходе которого происходило снижение кислотоёмкости руды. Закисление продолжалось до достижения pH раствора на выходе из колонки выщелачивания 1,9–2,0.

Выщелачивание проводилось в колонках высотой 1 м и внутренним диаметром 100 мм. Класс выщелачиваемой руды –5+0 мм. Выщелачивание проводили по схеме, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема проведения выщелачивания. Пунктиром показана возможность исключения стадии электроразрядной обработки.

Результаты экспериментов

В результате обработки растворов импульсным искровым разрядом происходило окисление ионов двухвалентного железа до трехвалентного состояния. Зависимости концентрации железа (III) от времени электроразрядной обработки представлены на рисунке 2 [2].

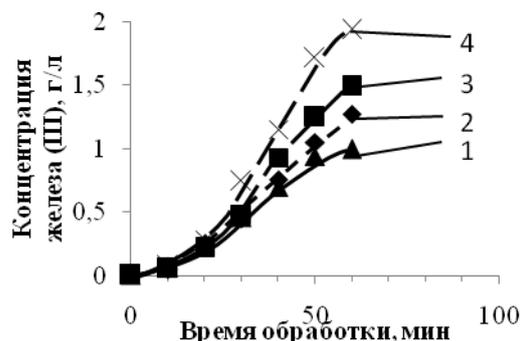


Рисунок 2. Зависимость концентрации железа (III) от времени при различной начальной концентрации железа (II) в растворе, г/л: 1 — 1; 2 — 1,5; 3 — 2; 4 — 2,5.

Эффективность окисления железа в растворах выщелачивания составила 10,7 кВт·час/кг Fe. Энергозатраты на обработку раствора составили

21 кВт·час/м³. При этом максимально достигнутое значение окислительно-восстановительного потенциала при обработке электрическим разрядом составило 650 мВ. Без электроразрядной обработки растворов ОВП составил 450 мВ. Анализ растворов также показал накопление нитрат- и нитрит-ионов в количестве 100–120 мг/л.

На рисунке 3 представлена зависимость степени извлечения урана от критерия Ж:Т (отношение объема жидкости, пропущенной через рудную массу (л), к массе этой руды (кг)).

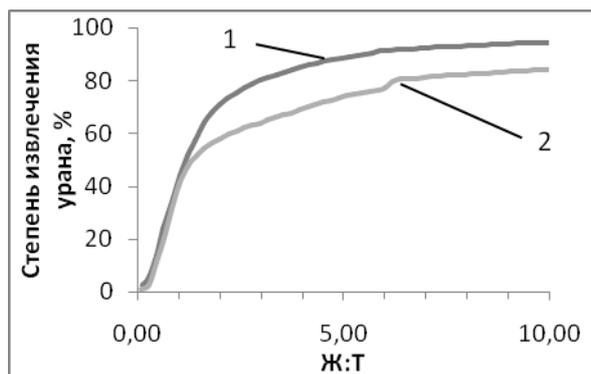
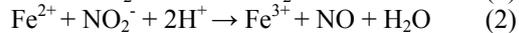


Рисунок 3. Зависимость степени извлечения урана от критерия Ж:Т. 1 — раствор, обработанный ИР, 2 — необработанный раствор выщелачивания.

Как видно из представленных данных процесс закисления руды закончился при значении Ж:Т = 1,4. При использовании растворов, обработанных электрическим разрядом, при уменьшении концентрации серной кислоты в 6 раз, скорость извлечения урана практически не изменяется. Использование необработанных растворов приводит к резкому снижению скорости извлечения урана.

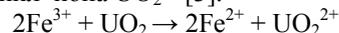
В результате сравнительного выщелачивания было установлено, что использование растворов, обработанных электрическим разрядом, позволило повысить степень извлечения урана до 90-94 % против 84 % при применении необработанного раствора.

Таким образом с учетом данных по окислению железа и накоплению азот-содержащих продуктов в растворе выщелачивания можно сделать вывод о том, что электроискровая обработка приводит к получению модифицированных растворов выщелачивания, в которых действующим фактором является не только наличие ионов трехвалентного железа, но также и нитрит- и нитрат-ионов. В данном случае активация раствора электрическим разрядом заключается в окислении ионов двухвалентного железа в трехвалентную форму под действием образующихся оксидов азота и нитрит-ионов [2, 3].



Кроме того содержащиеся в растворе ионы NO_2^- и NO_3^- значительно повышают значение его ОВП.

В результате взаимодействия железа (III) с минералами, содержащими уран (IV), происходит образование растворимого урана (VI), существующего в виде уранил-иона UO_2^{2+} [3].



Ионы железа (II), образовавшиеся в результате окисления урана (IV) вновь окисляются по реакциям (1) (2) и вовлекаются в процесс окисления урана (IV). Нитрит-ионы, накапливающиеся в ходе электроразрядной обработки, можно рассматривать как промежуточные интермедиаты окисления железа (II) непосредственно в процессе выщелачивания. При этом они не участвуют в процессе непосредственного окисления урана [3].

Выводы

В результате проведенного эксперимента было определено, что импульсный искровой разряд позволяет активировать растворы выщелачивания урана и повысить степень его извлечения на 6–10 % либо уменьшить время выщелачивания в 3–4 раза. При этом энергозатраты на обработку рас-

створа составили $21 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{м}^3$. Активация растворов выщелачивания происходит за счет окисления ионов железа (II), содержащихся в растворе, оксидами азота и нитрит-ионами, образовавшимися в результате электроразрядной обработки. Нитрат- и нитрит-ионы можно рассматривать как промежуточные интермедиаты окисления железа (II).

Список литературы

1. Филиппов А.П., Нестеров Ю.В. Редокс-процессы и интенсификация выщелачивания металлов. Москва: «Руда и Металлы», 2009. 97-5-98191-048-7.
2. Осокин Г.Е. Корнев Я.И. Окисление железа в сернокислых растворах импульсными электрическими разрядами. Сборник трудов СТТ-2011. с. 102-104. Т. 1.
3. Мамилов В.А. Петров Р.П. Добыча урана методом подземного выщелачивания. Москва: Атомиздат, 1980. ISBN 5-98191-019-4.

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Павлов И.А., Темербаев С.А.

Научный руководитель: Довгун В.П., д.т.н., профессор
Сибирский федеральный университет, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: ccheckk@mail.ru

Введение

Энергосбережение и энергоэффективность является одним из приоритетных направлений в программе развития экономики России [1]. В рамках этого направления в энергетической отрасли происходят различные изменения. В том числе введение, дифференцированных тарифов на потребление электроэнергии (ЭЭ), т.е. стоимость потребленной ЭЭ зависит от времени суток и времени года.

Дифференцирование тарифов решает сразу несколько задач:

- стимулирует конкуренцию на рынке ЭЭ, предоставляя потребителю возможность выбора наиболее выгодного поставщика;
- стимулирует энергосбережение и энергоэффективность;
- решает задачу более точного учета ЭЭ и мониторинга баланса между производством и потреблением.
- повышает надежность энергосистемы, предоставляя потребителям возможность получать более дешевую электроэнергию в ночное время, тем самым разгружая энергосистему днем и в часы максимума.

Но осуществление учета ЭЭ по дифференцируемому тарифу невозможно без специальных приборов – интеллектуальных электросчетчиков. Традиционные (интегральные) приборы учета измеряют только общее количество потребленной ЭЭ, не предоставляя информации о том, в какой момент времени какое количество было потреблено.

Интеллектуальные (интервальные) электросчетчики позволяют осуществлять более детальный учет энергоресурсов (фиксировать «приращение» потребления электроэнергии за каждые 30 минут), определять основные параметры сети и качества ЭЭ, кроме того обладают возможностью многотарифного учета, имеют возможность работать в составе автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ).

Интеллектуальные приборы учета имеют достаточно высокую стоимость, поэтому в основном их устанавливают крупные потребители и предприятия промышленного сектора.

Данные об энергопотреблении могут автоматически поступать на сервера сбора данных, в том случае если счетчики входят в состав системы АИИС КУЭ. Либо считываться со счетчика вручную, с помощью компьютера и специального программного обеспечения (ПО), а затем загружаться на сервер для дальнейших расчетов и аналитики. Основные недостатки «ручного» опроса:

1. Уникальность электросчетчиков разных производителей: считать данные невозможно без специализированного ПО для конкретного типа прибора учета.

2. Трудности обучения персонала работе с различным ПО для каждого типа счетчика.

3. Выезжающему персоналу необходимо иметь при себе ноутбук с установленным и настроенным ПО.

Для устранения существующих недостатков был разработан мобильный комплекс для работы с приборами учета электроэнергии.

Обзор мобильного комплекса

Аппаратную часть разработанного мобильного комплекса представляет промышленный коммуникатор, функционирующий на платформе Windows Mobile. Обязательным является наличие COM порта, для подключения инфракрасного или оптопорта (УСО-1) по интерфейсу RS232.

Для тестирования разработки использовался коммуникатор Getac PS236 (рис. 1).



Рис. 1. Коммуникатор Getac PS236

Программное обеспечение использует базу данных (БД) Microsoft SQL Server Compact 3.5 для устройств Windows Mobile, которая является бесплатной и устанавливается отдельно. В БД загружается информация по энергообъектам и точкам учета. Навигация по объектам осуществляется в главном окне программы (рис.2). Для каждой точки учета предоставляется рабочая область, содержащая основной функционал для работы с прибором учета. Характеристика разработанного программного обеспечения:

- Открытый исходный код на языке C#.
- Использование открытого протокола для обмена данными со счетчиком (ГОСТ Р МЭК 61107-2001)[2].
- Модульный принцип разработки: все функции работы с конкретной моделью ПУ вынесены в отдельную библиотеку. Таким образом, для добавления поддержки новой модели прибора учета нет необходимости менять исходный код, достаточно добавить только библиотеку.

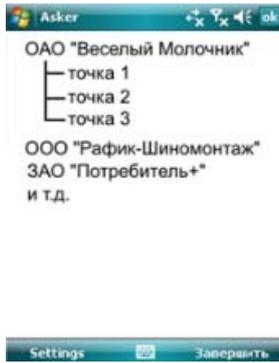


Рис. 2. Главное окно программы
- Режим считывания (рис. 3 – 4) позволяет прочитать основные параметры электросети (напряжения, токи, частота), показания и профили нагрузки. Считанные показания и профили сохраняются в собственной базе данных коммуникатора с возможностью последующей репликации с основным сервером.



Рис. 3. Вкладка «Общие параметры»

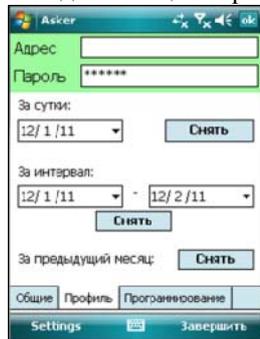


Рис. 4. Вкладка «Профиль»

- Режим программирования (рис.5) позволяет производить корректировку внутренних часов счетчика, разрешать/запрещать переход часов ПУ на зимнее/летнее время, устанавливать дату и время, изменять внутренние коэффициенты трансформации по току и напряжению
К дополнительным функциям относится:
- Автоматическая синхронизация времени. Если расхождение между часами коммуникатор и прибором учета менее 30 сек, то синхронизация происходит автоматически, в ином случае запрашива-

ется разрешение пользователя на корректировку времени.

- Данные, считанные с ПУ, на месте могут быть переданы через GPRS канал на основной сервер.

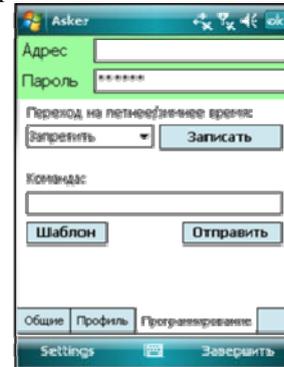


Рис. 5. Вкладка «Программирование»

Заключение

Предложенный вариант мобильного комплекса для работы с приборами учета ЭЭ используется для программирования, снятия показаний и профилей с приборов учета CE301, CE303 в ОАО «Красноярскэнергосбыт»[3].

Основными достоинствами использования мобильного комплекса являются:

- простота; вся работа сводится к нажатию нескольких кнопок
- универсальность; независимо от производителя прибора учета, порядок действий не изменяется. Нет необходимости каждый раз обучать персонал для работы с новым типом счетчика.
- эргономика; у персонала нет больше необходимости брать на объекты ноутбук.

В дальнейшем планируется увеличение количества поддерживаемых типов счетчиков, возможность сохранения считанных данных напрямую в основную базу данных через GPRS канал, расширение функционала для работы с приборами учета.

Список литературы

1. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
2. ГОСТ Р МЭК 61107-2001 Обмен данными при считывании показаний счетчиков, тарификации и управлении нагрузкой. Прямой локальный обмен данными.
3. Инструкция по программированию ИНЕС.411152.081 ИС1 счетчика активной и реактивной электрической энергии Энергомера CE301, CE303.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ НЕЧЕТКОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА СТВОРА ПЛОТИНЫ ГЭС

Панкратьев П.С.

Научный руководитель: Шакиров В.А., к.т.н., доцент
Братский государственный университет, Россия, 665709, г. Братск, ул. Макаренко 40
E-mail: scud33@inbox.ru.

Для районов Северо-Восточной Сибири весьма актуальной в настоящее время является проблема дорогостоящего топлива и непостоянных его поставок. Низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, многозвенность процесса завоза топлива приводят к высоким потерям и многократному его удорожанию [1, 2]. Эксплуатация большей частью устаревших и физически изношенных автономных энергоисточников определяет их неудовлетворительное техническое состояние, низкую экономичность, что приводит к недостаточной надежности энергообеспечения и неоправданно высоким финансовым затратам.

Внедрение технологий возобновляемой энергетики, при разумном использовании, может оказать заметную помощь в энергообеспечении районов со слабой топливной базой, плохими транспортными условиями и слабым развитии электрических сетей. Одним из возможных вариантов электроснабжения автономного объекта являются гидроэлектростанции. Таким образом, решение вышеуказанной проблемы может видаться в строительстве малых и микроГЭС.

Строительство гидроэлектростанций может вытеснить объем дорогого завозимого топлива, привести к удешевлению электроэнергии, и поэтому может являться экономически целесообразным решением.

Одним из перспективных районов для повышения эффективности энергоснабжения можно считать Момский и Оймяконский районы с протекающей в этих местах рекой Индигиркой. Достаточно благоприятные для строительства ГЭС гидрологические и геологические условия района, а также сосредоточение таких полезных ископаемых, как золото (одно из самых богатых месторождений золота в Якутии), сурьма, вольфрам, привлекли внимание для дальнейшего изучения. Возможность строительства на реке Индигирке также подтверждается в статьях [3–5]. Перспективу строительства малой ГЭС также определяет то, что в период до 2030 года запланировано строительство стратегической железнодорожной линии Якутск (Нижний Бестях) – Мома – Магадан [6].

В результате анализа целесообразности строительства ГЭС были получены ориентировочные значения установленных мощностей ГЭС в трёх створах. Первый вариант предусматривает сооружение ГЭС в 26 км вверх по течению от п. Усть-Неры с плотиной высотой от 20 до 60 м с установленной мощностью генераторов от 11 до 200 МВт. Второй вариант предусматривает сооружение ГЭС в 67 км вниз по течению от п. Усть-Неры с плотиной высотой от 20 до 40 м с установленной мощностью генераторов от 18 до 98 МВт. Третий вариант предусматривает сооружение ГЭС в 55 км вверх по течению от с. Хонуу с плотиной высотой от 30 до 60 м с установленной мощностью от 15 до 100 МВт. Разброс мощностей обусловлен геологическим строением поверхности зем-

ли. Проведена предварительная оценка стоимости строительства ГЭС для намеченных вариантов.

Однако результат поиска места строительства ГЭС сводится не только к нахождению экономической выгоды. Необходим анализ многочисленных факторов, таких как [7]:

- факторы окружающей среды;
- экономические факторы;
- социально-экономические факторы;
- факторы здоровья и безопасности населения;
- факторы общественного мнения.

Факторы, связанные с окружающей средой, касаются состояния экосистемы. Экономические факторы связаны как с ростом капиталовложений в течение строительства, так и с различными законодательными требованиями, как, например, соблюдение стандартов надежности и защиты окружающей среды. Третья группа факторов связана с воздействием на граждан, живущих поблизости от предполагаемого места строительства ГЭС. Сооружение и эксплуатация энергообъектов сопряжены с риском, который может привести к несчастным случаям, болезням или травмам – это относится к четвертой группе факторов – факторам здоровья и безопасности населения. Под факторами, связанными с общественным мнением, подразумевается существование других заинтересованных в строительстве групп людей, таких как, например, организации по охране окружающей среды и т.д.

В связи с этим поставленная задача может считаться многокритериальной. Многочисленность критериев усложняет задачу, так как одновременно получить лучшие оценки по всем критериям не представляется возможным. Возникает необходимость определения структуры предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР) для определения того, по каким критериям в первую очередь должны быть получены лучшие оценки.

Так, например, весомым критерием может выступить перспектива строительства стратегической железнодорожной линии в Момском районе. Другим значимым фактором является совокупность лучших энергетических показателей первого намеченного створа ГЭС в Оймяконском районе.

Вместе с тем при анализе имеет место неполнота, внутренняя противоречивость, неоднозначность и размытость исходных данных. Эта неопределенность является неотъемлемым свойством проблемы принятия решения по выбору места строительства ГЭС, что обусловлено как сложностью задачи, так и дефицитом информации из-за ресурсных и временных ограничений. Поэтому приходится прибегать к нечетким оценкам и, таким образом, привлекать аппарат теории нечетких множеств.

На основании рассмотренных факторов предлагается проводить оценку вариантов места строитель-

ва ГЭС с использованием методов нечеткого многокритериального анализа.

Для нечеткого многокритериального анализа могут применяться различные методы. Например, модифицированный метод анализа иерархий (МАИ) с использованием нечетких экспертных оценок [8]. Модифицированный МАИ на основе нечетких экспертных оценок отличается от классического МАИ, предложенного Т.Л. Саати [9], способом формирования нечетких матриц попарных сравнений (МПС) и методом получения вектора приоритетов.

В модифицированном МАИ получение векторов приоритетов может быть основано на генетическом алгоритме (ГА) [8]. При использовании ГА для получения весов из нечетких МПС необходимо определить способ представления вектора приоритетов W в хромосоме и функцию соответствия для оценивания хромосом. Одним из простых и эффективных методов кодирования информации является прямое кодирование.

Хромосома при прямом кодировании представляется битовой строкой (рис. 1). При этом для обеспечения требуемой точности (три знака после запятой), длина хромосомы равна $8n$ (количество генов в хромосоме).

0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1
w_1								w_2							

Рис.1. Способ представления вектора приоритетов W в хромосоме

Далее происходит заполнение хромосомы случайными двоичными числами, после чего эти числа преобразовываются в десятичные и нормализуются. Хромосома оценивается с использованием некоторой меры соответствия, которую называют функцией соответствия. Наилучшей хромосомой считается хромосома, у которой наибольшее значение функции соответствия $F(W_k)$, и наоборот.

Метод получения векторов приоритетов из нечетких МПС на основе генетического алгоритма сводится в ходе нескольких итераций к нахождению некоторой популяции хромосом и выявлению из нее лучшей. Вектор приоритетов, соответствующий данной хромосоме, принимается как решение.

Преимущество метода получения весов состоит в следующем [8]:

1. позволяет получать веса для нечетких матриц попарных сравнений, представленных как нечеткими треугольными числами, так и трапециевидными;
2. для оценивания согласованности нечетких суждений экспертов применяется мера согласованности, использующая значение функции соответствия наилучшей хромосомы;

3. нет необходимости выполнять интервальную аппроксимацию нечетких матриц попарных сравнений, что позволяет уменьшить временные и вычислительные затраты обработки нечетких экспертных оценок.

Таким образом, подводя итог, можно сказать, что повышение эффективности энергоснабжения удаленных районов может быть осуществлено путем введения в структуру генерирующих мощностей малых и микроГЭС. Выбор створа ГЭС является сложной комплексной многокритериальной задачей в условиях нечеткости информации. Решать такую задачу видится возможным, применяя методы многокритериального нечеткого анализа, где ЛПР на основании своих суждений приходит к решению поставленной задачи.

Список литературы

1. Лукутин Б.В., Киушкина В.Р. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.
2. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова., Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
3. Ноговицын Д.Д. Гидропотенциал малых рек Северо-Востока России / Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П. // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – №5. – С. 68-69.
4. В. А. Савельев. Перспективы развития гидроэнергетики восточных районов России / В. А. Савельев. // Энергия: техника, экономика, экология. – 2009. – № 7. – С. 2-9.
5. Малик Л.К. ГЭС на малых реках России: достоинства и недостатки / Малик Л.К. // Природа. – 2003. - №1. – С. 55-62.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена Правительством РФ 22 ноября 2008 г.
7. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Р. Кини. Пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1983. - 320 с.
8. В.И. Дубровин. Метод получения вектора приоритетов из нечетких матриц попарных сравнений / В.И. Дубровин, Н.А. Миронова // Искусственный интеллект. – 2009. - №3. – С. 464-470.
9. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т.Л. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.

РАСЧЁТ ЗАПАСА ПО СТАТИЧЕСКОЙ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ САЯНО-ШУШЕНСКОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА

Плеханов А.С., Мясина Е.А.

Научный руководитель: Толстихина Л.В., к.т.н., доцент
Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

E-mail: mailfordiv@mail.ru

Саяно-Шушенский электроэнергетический узел - самая мощная гидравлическая электростанция в России, её установленная мощность составляет 6400 МВт. Для передачи этой мощности были построены 4 воздушных линии электропередач напряжением 500 кВ. Однако, их пропускная способность не является достаточной для передачи установленной мощности станции. В результате более трети установленной мощности оказываются запертыми.

Пропускная способность линий электропередач напряжением 500 кВ определяется максимальной мощностью, которую можно передавать без потери устойчивости. Определить запас статической аperiodической устойчивости возможно в случае, если известна область предельных режимов. Построение области предельных режимов было рассмотрено ранее в [1].

В данной работе предлагается оценивать запас по статической аperiodической устойчивости кратчайшим расстоянием от рабочей точки до границы области предельных режимов. Этим кратчайшим расстоянием является радиус окружности с центром в рабочей точке:

$$F(R, P) = R^2 - (P_1 - P_{1,0})^2 - (P_2 - P_{2,0})^2 = 0,$$

где: R – радиус окружности, P_1, P_2 – активные мощности в первом и втором узлах соответственно.

Состояние электрической системы описывается уравнениями [2]:

$$\begin{cases} w_{Pk} = P_k - U_k^2 g_{kk} - \sum_{i=1}^{n+1} [(U_{ak} U_{ai} + U_{rk} U_{ri}) g_{ki} + \\ + (U_{ak} U_{ri} - U_{rk} U_{ai}) b_{ki}] = 0; \\ w_{Qk} = Q_k - U_k^2 b_{kk} - \sum_{i=1}^{n+1} [-(U_{ak} U_{ri} - U_{rk} U_{ai}) g_{ki} + \\ + (U_{ak} U_{ai} + U_{rk} U_{ri}) b_{ki}] = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где: P_k – активная мощность, генерируемая узлом; Q_k – реактивная мощность, генерируемая узлом; U_k – модуль напряжения в узле; g_{kk}, b_{kk} – собственные активная и реактивная проводимости узла; U_{ak}, U_{rk} – вещественная и мнимая составляющие напряжения узла; g_{ki}, b_{ki} – взаимные активная и реактивная проводимости узлов.

На границе предельных режимов матрица Якоби вырождена [3], для устранения её выро-

жденности умножаем её на собственный вектор [4].

Решаемая система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} W(U, P) = 0; \\ J(U) \cdot S = 0; \\ F(R, P) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $W(U, P)$ – система уравнений небалансов мощностей электроэнергетической системы; $J(U)$ – матрица Якоби системы уравнений небалансов мощностей (1); S – собственный вектор матрицы Якоби $J(U)$.

В методе Ньютона матрица Якоби линеаризованной системы уравнений (2) будет иметь вид:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial(W)}{\partial U} & \frac{\partial(W)}{\partial S} & \frac{\partial(W)}{\partial P} \\ \frac{\partial(J \cdot S)}{\partial U} & \frac{\partial(J \cdot S)}{\partial S} & \frac{\partial(J \cdot S)}{\partial P} \\ \frac{\partial(F)}{\partial U} & \frac{\partial(F)}{\partial S} & \frac{\partial(F)}{\partial P} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Размерность системы (2) $4n+1$, а число переменных $4n+2$.

Для нахождения $4n+2$ переменных необходимо умножить матрицу Якоби (3) на собственный вектор:

$$H \cdot Z = 0,$$

где: H – матрица Якоби системы уравнений (2), Z – собственный вектор матрицы Якоби H .

Решаемая система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} W(U, P) = 0; \\ J(U) \cdot S = 0; \\ F(R, P) = 0; \\ H(U, P, S) \cdot Z = 0, \end{cases} \quad (4)$$

Собственный вектор матрицы Якоби определён с точностью до множителя. Это позволяет закрепить одну из компонент собственного вектора матрицы Якоби. После этого можно ввести в число переменных независимый параметр R . Итерационный процесс при решении системы уравнений (4) методом Ньютона примет вид для $i+1$ итерации:

$$\begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta S \\ \Delta P \\ \Delta Z \\ \Delta R \end{bmatrix}^{(i+1)} = - \begin{bmatrix} W \\ J \cdot S \\ F \\ H \cdot Z \end{bmatrix}^{(i)},$$

$$[H] = \begin{bmatrix} \frac{\partial(W)}{\partial Z} & \frac{\partial(W)}{\partial R} \\ \frac{\partial(J \cdot S)}{\partial Z} & \frac{\partial(J \cdot S)}{\partial R} \\ \frac{\partial(F)}{\partial Z} & \frac{\partial(F)}{\partial R} \\ \frac{\partial(H \cdot Z)}{\partial Z} & \frac{\partial(H \cdot Z)}{\partial R} \end{bmatrix}^{(i)}.$$

Схема Саяно-Шушенского электроэнергетического узла имеет вид:

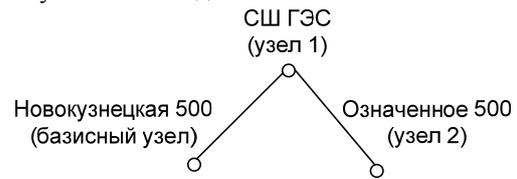


Рис.1. Схема Саяно-Шушенского энергетического узла

В результате решения системы уравнений (4) получили запас мощности по статической аperiodической устойчивости: $R = 2652$ МВт.

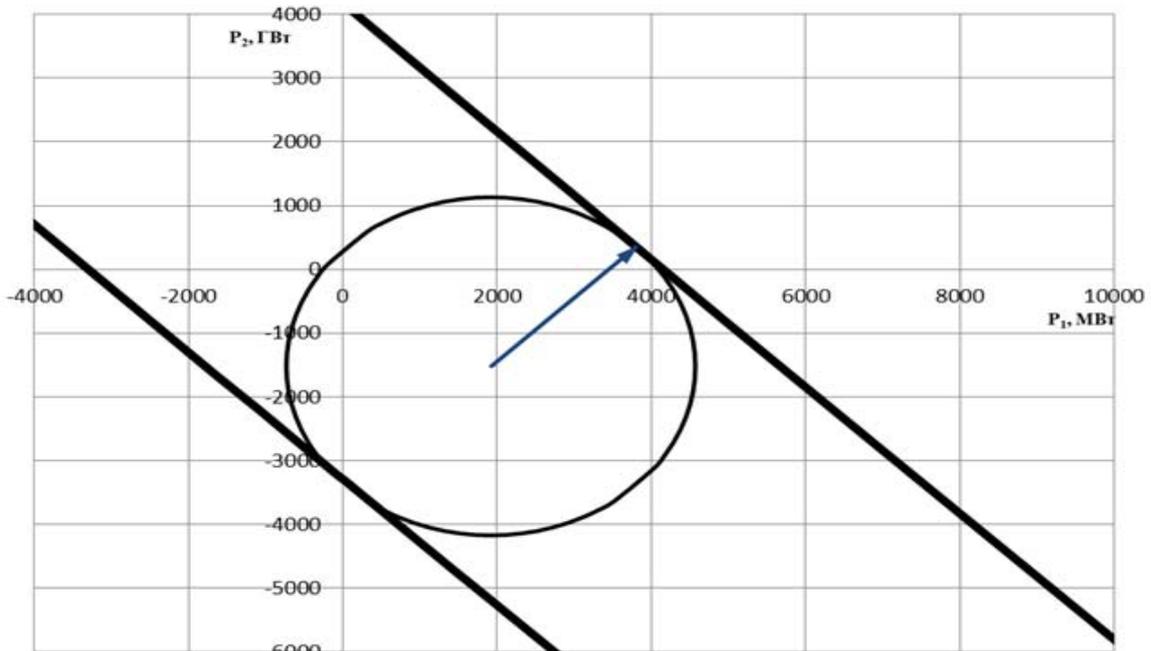


Рис.2. Запас устойчивости по статической аperiodической устойчивости Саяно-Шушенского энергетического узла

Выводы:

Была создана математическая модель, позволяющая определить точный запас по САУ и пределы передаваемой мощности по линиям.

Список используемых источников:

1. Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. Т.1. 423 с., с. 68 – 73.

2. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях : Учеб. Пособие для вузов/Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, В.В. Ежков и др., Под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с., ил.

3. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических систем. Под ред. В.А. Веникова. М., «Энергия», 1977.

4. Конторович А.М. Уравнения предельных режимов и их использование для решения задач управления энергосистемами/Методы исследования устойчивости сложных энергосистем и их использование. М.: Энергоатомиздат, 1985

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ: МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Пругик А.Ф.

Томский политехнический университет; 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lex@tpu.ru

В процессе чтения дисциплины преподаватель может столкнуться со следующей проблемой. Индивидуальные задания, лабораторные работы, курсовые проекты могут быть выполнены студентами механически, глубоко не вникая в суть дела, скорее, наоборот – со стремлением выполнить поставленные задачи наиболее простым путем, который позволит получить удовлетворяющую студента оценку с приложением минимальных усилий с его стороны. Это объясняется как обычной человеческой ленью, недостатками воспитания, так и существующими материалами, используемыми студентом во время обучения. В качестве таких материалов рассматриваемый студент чаще всего использует наработки его товарищей, студентов старших курсов, а также методические или руководящие указания, в которых точно изложена последовательность действий для выполнения данного конкретного задания. Подобные материалы используются студентами в качестве шаблонов выполнения их собственных заданий, заменяют хорошие учебники, статьи из журналов и другой научной периодики. Таким образом, студентами исключается весь творческий подход в целом, а сама индивидуальная работа сводится к выполнению заданий любым путем, с приложением минимальных усилий. В результате получаем студента, который по окончании обучения дисциплине в лучшем случае обладает заученными, неосмысленными навыками, позволяющими только решить конкретные задачи (которые он решал ранее), и не владеет знанием, опытом решения других задач данной области. В том числе, такого студента поставит в тупик любое отклонение от заученного курса, необходимость в котором может быть вызвана неожиданными сопутствующими решаемую задачу трудностями, которые невозможно было предусмотреть в методических указаниях или шаблонах ранее.

Чтобы избежать этой проблемы излагаемый преподавателем материал должен содержать в себе задания, максимально исключают возможность рассмотренного механического выполнения. Успешное выполнение данных заданий возможно только при условии их всестороннего осмысления. Работа над заданиями должна заставить студента хорошо разобраться в сути решаемых задач и смежных вопросах, и тем самым обучить его творческому подходу и поиску.

Преподаватели курсов по релейной защите и автоматике (РЗА) в полной мере имеют дело с рассматриваемой проблемой. Данная дисциплина является одной из основных для студентов обучающихся по электроэнергетическим направлениям и специальностям. Ошибки в проектировании, настройке и эксплуатации РЗА могут привести к большому хозяйственному ущербу, исчисляемому миллионами рублей. Это обуславливает высокую важность знаний, опыта и ответственности которыми должен обладать специалист в области РЗА, а значит и преподавателя, обучившего его этому предмету.

В связи с этим актуальна разработка методических материалов повышающих эффективность преподавания дисциплины, прививающих творческое отношение к решаемым задачам, работа с которыми позволяет и побуждает студента глубоко погрузиться в суть вопроса, а решение индивидуальных заданий, входящих в эти материалы, невозможно без овладения знаниями, навыками и качественным пониманием функционирования РЗА.

В качестве таких материалов предлагается использовать алгоритмы, математическое обеспечение и компьютерную программу расчета технической эффективности релейной защиты. Для эффективного обучения в курс лекций включается соответствующий теоретический материал, необходимый для выполнения студентами индивидуальных заданий. Индивидуальные задания представляют собой расчет технической эффективности релейной защиты на заданных согласно варианту объектах реальных энергосистем. Индивидуальные задания студентами выполняются самостоятельно и на лабораторных работах. Теоретически студенты могут производить все соответствующие расчеты вручную, с использованием калькулятора и математических программ MathCAD, Excel и др., но в этом случае значительная часть времени студента затрачивается на выполнения рутинной работы, которая не имеет решающего значения в плане освоения функционирования РЗА. В связи с этим была разработана специализированная интерактивная компьютерная программа определения технической эффективности RPTEC (Relay Protection Technical Efficiency Calculation - Расчет технической эффективности релейной защиты) (рисунки 1).

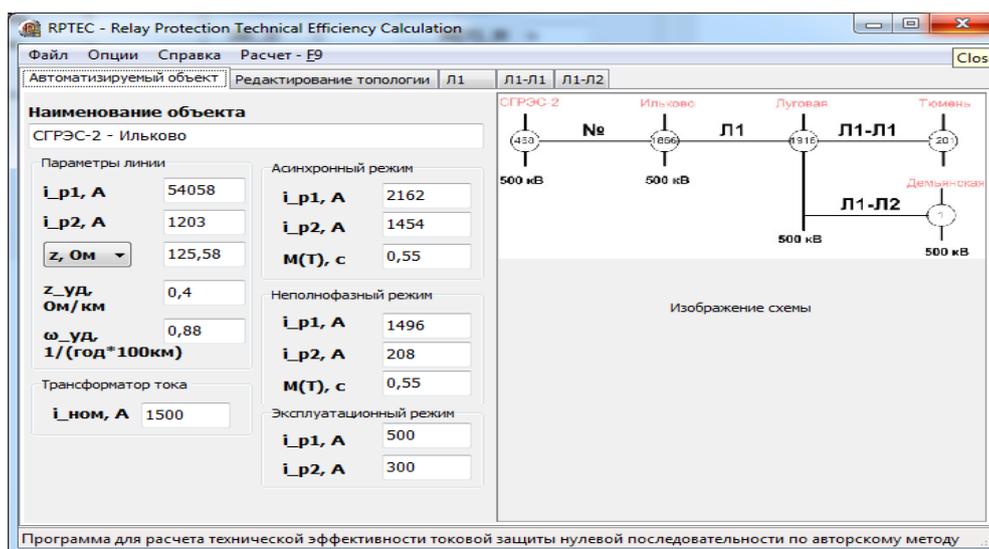


Рис. 1. Программа RPTEC

Интерактивные свойства программы реализованы с той целью, чтобы способствовать освоению студентом учебной программы. Для этого все математические расчеты (многочисленные интегралы, сложные выражения, формулы) осуществляются программой, а та часть интерактивной работы студента, которая требует знаний функционирования РЗА, реализуется посредством соответствующего сервиса программы, включающего в себя следующие возможности:

1. Создание, сохранение, редактирование и загрузка базы данных и графического изображения рассчитываемой схемы.
2. Расчет технической эффективности для заданной уставки.
3. Определение оптимальной уставки исходя из максимума технической эффективности или минимума потерь функционирования РЗ (вероятностей ложных и излишних действий, отказов срабатывания).
4. Построение графика технической эффективности как функции от уставки.
5. Детализация расчетов, включающая в себя подробный отчет по всем вероятностным составляющим технической эффективности, включая различные графические иллюстрации, посредством которых удобно анализировать и воспринимать результаты расчета (плотности распределения вероятностей электрических величин с отмеченными на оси абсцисс параметрами реагирования и другими границами, определяющими соответствующие величины условных вероятностей).
6. Возможность заданий удельных весов для всех составляющих технической эффективности, тем самым отслеживая и осмысливая вклад каждой составляющей в результирующее значение технической эффективности.

Таким образом, использование теоретических материалов и программ технической эффективности в учебном процессе имеет следующие положительные стороны:

1. Формируется целостная картина функционирования РЗА. Студент осознает, что РЗА функционирует согласно режимно-коммутационной картине электрических величин, в которой присутствуют полезные электрические сигналы, на которые нужно соответствующим образом реагировать и помехи, от которых нужно отстроиться. Складывается понимание того, что качество функционирования РЗА определяется ее алгоритмом, совокупностью характерных для автоматизируемого объекта электрических сигналов и настройкой (уставками) РЗА.

2. Обучение на цифровых моделях реальных энергосистем. Расчет технической эффективности РЗ производится на реальных объектах. Для этого используется имеющиеся вычислительно-расчетные комплексы (ВРК: ТКЗ 3000, АРМ СРЗА, Евростаг и другие), в среде которых необходимо рассчитать необходимые для определения технической эффективности электрические величины (рабочие и аварийные токи КЗ, сопротивления и др.), что способствует освоению студентами данных вычислительных расчетных комплексов как инструментов подготовки данных и решения конкретных электроэнергетических задач.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Литература:

1. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов и программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество. №12. 2009 г. - с. 19-26.

ОТКАЗЫ СРАБАТЫВАНИЯ И ИЗЛИШНИЕ ДЕЙСТВИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ

А.Ф. Прутик, Чан Хоанг Куанг Минь, А.В.Шмойлов

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lex@tpu.ru

Соотношение удельных весов между отказами срабатывания при коротком замыкании (КЗ) на защищаемом объекте и излишними действиями при внешнем КЗ для релейных защит (РЗ) автоматизируемого объекта (силового элемента) электрической сети, должно определяться соотношением экономических разовых ущербов при названных видах потерь. При этом необходимо учесть особенности и свойства современных релейных защит, зависимости функциональных потерь РЗ от параметров реагирования при КЗ в сети.

Ступенчатые защиты мощных трансформаторов (автотрансформаторов), направленные в сеть, в отличие от ступенчатых защит линий не имеют отсечки без выдержки времени. Вторые же ступени линий и первые ступени трансформаторов (автотрансформаторов), направленные в сеть, практически выполняют одинаковую функцию взаимодействия с РЗ предыдущих и смежных линий. С точки зрения функциональных потерь они не имеют отказов срабатывания, а излишние действия в них будут, по условиям настройки, если они окажутся чувствительнее первых ступеней соответственно предыдущих и смежных линий и равными по времени действия со вторыми ступенями этих линий. Поэтому весьма целесообразно и актуально провести анализ соотношения удельных весов для ступенчатых защит линий и трансформаторов (автотрансформаторов), причем отдельно для основных и резервирующих ступеней. Следует заметить, что потери функциональных отказов срабатывания резервирующих ступеней, как правило, могут проявиться при КЗ соответственно на предыдущих и смежных линиях, а излишние действия при КЗ на второй и более дальних перифериях сети и возможные одновременные действия названных ступеней с рассматриваемой (интересующей) ступенью проявляются (интерпретируются) в виде излишних действий последней.

Функциональные отказы срабатывания основных ступеней РЗ возможны при КЗ на защищаемом объекте, что приводит к длительному снижению напряжения прямой последовательности в узлах защищаемого объекта, которыми он присоединен к сети, и аварийной потере этих узлов, а, следовательно, проходных (поступающих из сети в нормальном состоянии доаварийных активных мощностей $m(N_s)$ в каждый s -й из n_s узлов, объединяемых защищаемым объектом. Это обусловит аварийный недоотпуск электроэнергии потребителям в течение времени восстановления функционирования этих узлов, которое определяется временем $m(T_s^0)$ оперативных переключений (коммутаций) по подключению каждого s -го из n_s

узлов защищаемого объекта к сети. В состав времени восстановления может входить время режимной и оперативной реабилитации и подключения аварийно отключенных статических и динамических компонентов узлов защищаемой линии при КЗ на ней. Потеря активных мощностей $m(N_s)$ должны учитываться с удельными весами или вероятностями аварийной потери узлов p_s , которые рассчитываются как вероятности совмещения аварийной потери каждого s -го узла из n_s узлов автоматизируемого объекта со снижением напряжения прямой последовательности ΔU_{s*} относительно нормального эксплуатационного напряжения при всех видах КЗ, на которые реагирует РЗ.

Благодаря функциональной зависимости обсуждаемых снижений напряжения от равновероятных сопротивлений прямой последовательности между каждым s -м узлом и местом КЗ на автоматизируемом объекте, эти совмещения могут быть заменены совмещениями обсуждаемой аварийной потери с названными равновероятными сопротивлениями. Это позволяет достаточно просто вычислить путем суммирования вероятности p_s как доли сопротивлений относительно сопротивления защищаемой линии, при которых снижения напряжений прямой последовательности в узлах превышают критическое напряжение по условиям статической устойчивости и аварийная потеря узлов в этом случае гарантирована, а также как оставшиеся относительные доли (участки) сопротивлений линии, при которых снижения напряжений прямой последовательности в узлах ниже критического значения и аварийная потеря узлов не гарантирована, но возможна и поэтому дополнительно умножаемых на среднее значение вероятностей меньших единицы на этих участках.

Таким образом, экономические ущербы при отказах срабатывания рассчитываются как сумма произведения удельного ущерба киловатт-часа аварийно-недоотпущенной электроэнергии «а» на сумму произведений активных мощностей $m(N_s)$ узлов на вероятности аварийной потери этих узлов p_s и на средние продолжительности восстановления функционирования узлов $m(T_s^0)$, величина которой для России в среднем составляет один час. Следовательно, ущерб небаланса активной мощности при аварийной потере в узлах определяется выражением

$$Y_{\text{нб}} = a \sum_{s=1}^{n_s} p_s m(N_s) m(T_s^0).$$

Излишние действия РЗ имеют место при КЗ на внешних относительно защищаемого объекта элементах. Защищаемый объект отключается от сети и, следовательно, прекращаются потоки активной мощности по защищаемому объекту (линии), что приводит к экономическому ущербу. Этот ущерб от прекращения потоков активной мощности определяется аналогично произведением удельного ущерба киловатт-часа аварийно-недоотпущенной электроэнергии «а» на сумму произведений потоков активных мощностей $m(N_{ps})$ у узлов защищаемого объекта и на среднюю продолжительность восстановления функционирования $m(T_{ps}^0)$ отключенного объекта, т.е.

$$Y_{п} = a \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{n_s} m(N_{ps})m(T_{ps}^0). \text{ Дробь } \frac{1}{2} \text{ в выражении}$$

ущерба обеспечивает однократный учет мощности среднего потока по защищаемой линии. Вероятности потоков мощности у узлов равны единице, т.к. при любом отключении защищаемого объекта все потоки достоверно аварийно теряются. Средняя продолжительность восстановления работы $m(T_{ps}^0)$ отключенного защищаемого сетевого объекта определяется оперативными переключениями для его подключения, величина которых в среднем составляет треть часа. При отключении КЗ выключатели как защищаемого объекта, так и присоединений узлов последнего к сети, срабатывают свой ресурс. Это обуславливает дополнительные составляющие ущерба $Y_{п}$ и $Y_{нб}$. В целом эти дополнительные составляющие ущерба $Y_{п}$ и $Y_{нб}$ не могут существенно изменить их соотношение, т.к. отключают соизмеримые токи КЗ одного и того же класса напряжения и поэтому имеют место соизмеримые срабатывания ресурсов коммутационных аппаратов при этом. С точки зрения соотношения удельных весов ущерба аварийной потери узлов и прекращения потоков мощности по защищаемому объекту вероятности аварийной потери узлов p_s существенного значения не имеют, т.к. необходимость этого соотношения наступает при физическом возникновении названных событий. Если бы защищаемый объект содержал один узел, то вероятность аварийной потери этого узла никакого отношения не имела к соотношению удельных весов отказов срабатывания и излишних действий. Но так как защищаемый объект содержит не один, а несколько узлов, то ущербы от аварийной потери разных узлов различаются, что обуславливает необходимость учесть это различие при суммировании аварийно теряе-

мых мощностей разных узлов. Однако различие вероятностей разных узлов не может быть радикальным, т.к. определяется реальными процессами (напряжениями прямой последовательности в узлах при одних и тех же видах КЗ). Поэтому для сокращения весьма большого объема расчетов вероятностей p_s различиями последних целесообразно пренебречь и принять их равными единице. Таким образом, для практических расчетов соотношение удельных весов излишних действий и отказов срабатывания для основных ступеней линий следует принять

$$Y_{п} / Y_{нб} = a \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{n_s} m(N_{ps})m(T_{ps}^0) / a \sum_{s=1}^{n_s} m(N_s)m(T_s^0) \cong \\ \cong \sum_{s=1}^{n_s} \frac{m(N_{ps})m(T_{ps}^0)}{2m(N_s)m(T_s^0)} = \sum_{s=1}^{n_s} \frac{m(N_{ps})1/3}{2m(N_s)} = \sum_{s=1}^{n_s} \frac{m(N_{ps})}{6m(N_s)}.$$

Анализ показывает, что сильное отличие отношения ущерба от излишних действий и отказов срабатывания защищаемого объекта для основных и резервирующих ступеней маловероятно, т.к., хотя ущербы для резервирующих ступеней будут больше, но в отношении полных ущербов это отличие отношений является несущественным. Поэтому для упрощения принято решение принимать соотношение удельных весов ущерба от излишних действий и отказов срабатывания у резервных ступеней таким же, как и для основных ступеней.

Вывод. При формировании выражений технического эффекта и технической эффективности устройств и систем РЗ [1-2] необходим учет существенного различия удельных весов отказов срабатывания и излишних действий. Удельные веса ложных действий при этом можно принять равными удельным весам излишних действий.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

Литература:

- 1.Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество – 2009. – №12. – С. 19–26.
- 2.Ле Тхи Хоа, Чан Хоанг Куанг Минь, Шмойлов А.В. Анализ дистанционных защит линий и разработка рекомендаций для них настройки // Журнал Известия ВУЗов «Электромеханика» 2011. – № 6. – С.92–97.

УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТОТЫ В ПРОГРАММАХ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Э.В. Рагимов

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

В работе электроэнергетической системы очень часто возникают ситуации, при которых нарушается баланс между генерацией и потреблением мощности (отключение блоков генераторов, нагрузки, короткие замыкания и т.д.). Нарушение баланса мощности приводит к изменению частоты в Электроэнергетической системе (далее ЭЭС).

Для расчета и анализа установившихся режимов с изменением частоты необходимо разработать модель ЭЭС, эффективный алгоритм и реализовать в виде программы расчета.

При расчете установившихся режимов фиксированной частотой вводится понятие балансирующего узла (БУ). При вводе БУ число независимых алгебраических уравнений становится равным $n-1$, где n – количество узлов в рассматриваемой ЭЭС.

С физической точки зрения БУ выполняет роль генератора бесконечной мощности, который выдает необходимую для выполнения баланса мощность. Однако значение выдаваемой мощности может оказаться нереальной для исследуемой ЭЭС.

Учет изменения частоты решает вышеописанную проблему. Однако разработка алгоритма, при котором учитывается изменение частоты, является сложной задачей.

Главная сложность заключается в моделировании параметров схем замещения (генераторные узлы, нагрузки и т.д.), зависящие от частоты. Другими словами необходимо учитывать статические характеристики генераторных и нагрузочных узлов в том виде, которые достаточны для решения поставленной задачи, а именно: расчета установившихся режимов с учетом изменения частоты.

Немаловажной сложностью является сходимость режима.

На практике применяется, в основном, два способа учета изменения частоты.

- В первом из них частота рассматривается как параметр, фиксированный при расчете режима, но корректируемый после расчета по специальному алгоритму.

- Во втором способе частота учитывается как независимая искомая переменная режима.

Ниже приведены требования, которые предъявляются к программе расчета установившихся режимов с учетом изменения частоты.

1. Возможность расчета установившегося режима при значительных отклонениях частоты.

2. Возможность расчета установившегося режима при значительных небалансах активной мощности.

3. Относительно простой алгоритм.

4. Относительно несложные модели элементов сети.

5. Моделирование элементов сети должно быть достаточными для расчета установившегося режима с учетом изменения частоты.

В связи с этим ниже предлагается метод и алгоритм расчета режимов с изменением частоты, разработанный М.С. Лисеевым. Данный метод отличается от существующих и отвечает вышеизложенным требованиям. Кроме того, этот метод достаточно прост, обладает хорошей сходимостью, программная реализация занимает мало времени, не требует сверхвысокой квалификации от программиста и может быть реализована сотрудниками проектных или иных организаций, обладающими начальными уровнями в программировании.

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_G от частоты определяется действием АРС и может быть учтена эквивалентным тангенсом угла наклона \wp моментно-скоростной характеристики турбины.

$$P_G = (1+S)(P_{G0} - P_{Гном} \frac{\delta}{\sigma}) = (1+S)(P_{G0} + P_{Гном} \cdot \wp \cdot \delta)$$

$$\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \text{ - относительное изменение частоты;}$$

$$\sigma = -\frac{1}{\wp} \text{ - коэффициент статизма АРС;}$$

P_{G0} и $P_{Гном}$ - начальная и номинальная мощность агрегата. Если АРС отсутствует, то $\wp = -1$ и мощность остается практически неизменной ($P_G = Const$). 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_G от частоты во многом определяется АРС турбины. В частном случае ограничения по активной ($P_G = Const$) регулирующий эффект $\frac{\partial Q_G}{\partial \omega}$ колеблется в диапазоне от 1 до 3. При действии АРС

($P_G = Var$) величина $\frac{\partial Q_G}{\partial \omega}$ оказывается больше в несколько раз: $\frac{\partial Q_G}{\partial \omega} = 5-15$. На величину

$\frac{\partial Q_G}{\partial \omega}$ влияют также и другие факторы. При расчете существенен учет ограничений $Q_{G\min} \leq Q_G \leq Q_{G\max}$, причем располагаемый диапазон по реактивной мощности (следовательно – эффективность АРВ) определяется активной нагрузкой генератора. Точный учет зависимостей $Q_{G\min}$ и $Q_{G\max}$ от P_G и частоты весьма сложен и при реальной погрешности исходной информации вряд ли целесообразен. Поэтому в расчетной методике величины $Q_{G\min}$ и $Q_{G\max}$ принимаются фиксированными, как и в расчетах на ЭВМ нормальных установившихся режимов [1].

Моделирование нагрузок.

При расчете режима помимо статических характеристик по напряжению $P_n(U)$ и $Q_n(U)$ необходимо учитывать аналогичные характеристики по частоте. Характеристики нагрузок можно представлять в виде полиномов от напряжения и относительно изменения частоты.

$$P_n = P_{n0} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right) + a_2 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^2 \right] [\alpha_0 + \alpha_1 (1+S)],$$

$$Q_n = Q_{n0} \left[b_0 + b_1 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right) + b_2 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^2 \right] [\beta_0 + \beta_1 (1+S)],$$

P_{n0}, Q_{n0} - начальные мощности;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение;

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, \alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ - постоянные коэффициенты.

Регулирующие эффекты нагрузок по частоте обычно составляют $\frac{\partial P_n}{\partial \omega} = 1-2$; $\frac{\partial Q_n}{\partial \omega} = -(1-6)$.

Для демонстрации работы программы рассчитаем режим для сети 220/110 кВ с суммарной потребляемой мощностью 295 МВт (без учета потерь в линиях и трансформаторах). Суммарная генерируемая мощность составляет 300 МВт (рис.1).

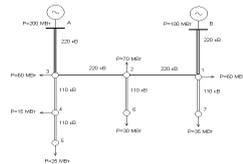


Рис. 1. Исследуемая сеть.

Проведем расчеты установившегося режима с разными коэффициентами статизма АРС и при отключении АРС для разных статических харак-

теристик нагрузки (далее СХН). На рис. 2 показаны зависимости частоты от суммарной потребляемой мощности.

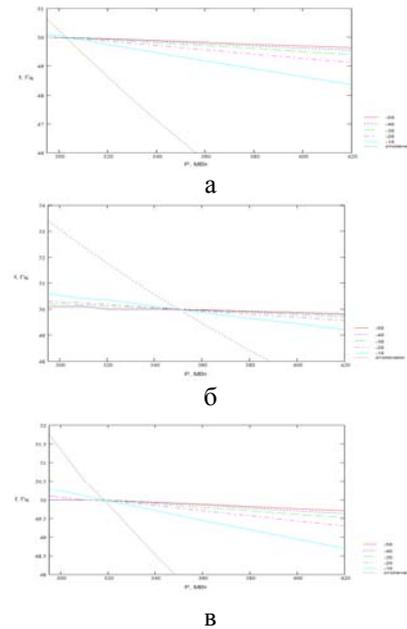


Рис.2. Кривые зависимости $f(P)$ для различных типов СХН

а) СХН 1; б) СХН 2; в) СХН 3

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%.

При коэффициентах статизма АРС -30, -20 и -10 для суммарной потребляемой мощности 295 МВт частота для первого типа СХН остается в 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.

На примере вышеописанной сети мы рассчитали установившийся режим электроэнергетической системы с учетом изменения частоты и тем самым убедились в возможности проведения подобных расчетов разработанной программы.

Литература

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.

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Розум Т.И., Полищук В.И.

Научный руководитель: Полищук В.И. к.т.н. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: V.TANKE@sibmail.com

Постановка задачи. Повреждения в обмотке возбуждения синхронной машины (СМ) сопровождаются витковыми замыканиями, которые включают в себя замыкания на землю в одной и в двух точках [1]. Замыкание на землю в одной точке обмотки возбуждения для СМ не опасно, так как ток в месте замыкания равен нулю. Отсутствие тока в части витков вызывает магнитную асимметрию ротора, что сопровождается вибрацией. Вибрация может достаточно быстро привести к разрушению подшипников и шеек вала.

Предлагается простой способ защиты обмотки возбуждения от витковых замыканий [2] на двух расположенных в торцевой зоне СМ на расстоянии полюсного деления τ датчиках магнитного поля (ДМП).

Способ защиты. При витковых замыканиях ток в замкнувшихся витках ротора СМ отсутствует, а магнитодвижущая сила поврежденных полюсов и их магнитное поле уменьшается пропорционально числу замкнувшихся витков. При этом работа устройства защиты основана на сравнении магнитного поля лобового рассеяния СМ в области двух полюсов. Пример вариантов размещения этих преобразователей для синхронной машины с числом пар полюсов $p = 3$ показан на рис. 1,а – рис. 1,в.

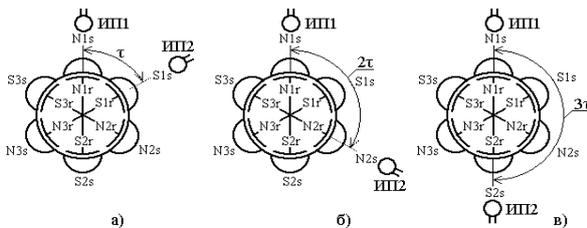


Рис. 1. Варианты размещения двух датчиков магнитного поля на синхронной машине с $d = 3$

Выбор информационного признака осуществляется путем графоаналитического анализа. В ДМП ЭДС e_{ns} индуцируется неподвижной обмоткой статора с током частотой $f_1 = 50$ Гц, а e_{nr} – вращающейся с угловой скоростью ω_r обмоткой возбуждения с постоянным током I_r .

При витковом замыкании в обмотке одного из полюсов ротора его намагничивающая сила уменьшится, так как ток в замкнувшихся витках можно считать равным нулю. Это приведет к

уменьшению амплитуды полуволны ЭДС индуцированной в ДМП1 этим полюсом. На рис. 2. показаны графики ЭДС на выходе датчиков ДМП1 (e_{n1}) и ДМП2 (e_{n2}) и график на выходе

блока сравнения при неповрежденной обмотке возбуждения рис. 2,а и при витковом замыкании в одном из полюсов в СМ.

Зависимость ЭДС $e_{n1} = f(t)$ при замыкании части витков в одном из полюсов синхронной машины при разложении в ряд Фурье [3] можно представить в виде

$$e_{n1} = E_m \cos \omega t - \frac{2\Delta E_m}{\pi p} \left[A_0 + \sum_{i=1}^p A_i \cos \frac{\omega t}{p} i \right] \quad (1)$$

где $\Delta E_m = E_m w_k / w_c$; w_c – число витков в обмотке полюса.

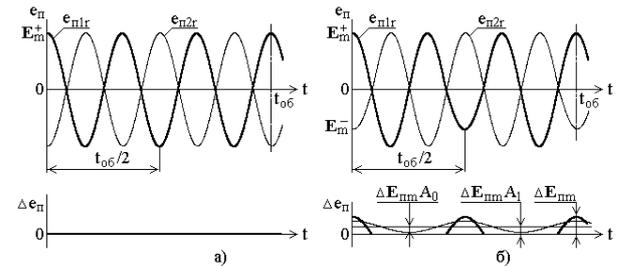


Рис. 2. ЭДС ДМП и их сумма при $d = 3$

ЭДС Δe_n на выходе БС при численном разложении в ряд Фурье [3] для различного расположения ДМП рис. 1,а,б,в дает следующие выражения соответственно

$$\Delta e_n = \frac{4\Delta E_n}{\pi p} \left(0,5 + 0,9743 \cos \frac{\omega t}{p} + 0,9 \cos \frac{2\omega t}{p} \right), \quad (2)$$

$$\Delta e_n = \frac{4\Delta E_n}{\pi p} \left(0,9743 \cos \frac{\omega t}{p} + 0,9 \cos \frac{2\omega t}{p} \right), \quad (3)$$

$$\Delta e_n = \frac{4\Delta E_n}{\pi p} \left(0,5 + 0,9 \cos \frac{2\omega t}{p} \right). \quad (4)$$

Выбор информационного признака. Анализ полученных выражений и рис. 2 показывает, что для построения защиты ротора $p = 3$ от виткового замыкания на землю можно исполь-

зывать все те составляющие Δe_n , которые приведены в выражениях (2), (3) и (4). Однако использование второго члена ряда $A_2 \cos(2\omega t / p)$ предпочтительней, так как он присутствует при любом размещении измерительных преобразователей. Выбор же информационного признака в каждом конкретном случае зависит от наличия и величины в устройстве защиты сигналов, от которых следует отстраиваться при целой обмотке возбуждения.

При замыкании обмотки возбуждения на землю в двух точках может замкнуться любое количество витков, а форма сигнала $\Delta e_n = f(t)$ будет иметь произвольный вид.

Реализация защиты. Поскольку в качестве информационного признака при любом расположении ДМП1 и ДМП2 защиты удобно использовать второй член ряда Фурье $A_2 \cos(2\omega t / p)$.

Время срабатывания защиты определяется с одной стороны временем надежного распознавания повреждения. Из рис. 2 ясно, что для выявления ВЗ требуется замер магнитного поля всех полюсов ротора машины. А это возможно за время одного полного поворота вала. Для надежного распознавания повреждения ротора потребуется как минимум два или три таких поворота. В результате можно считать что

$$t_{cз} = (2-3)t_{об}$$

Таким образом, для турбогенератора с $n=3000$ об/мин $t_{cз}$ составляет 0,04...0,06 с. Гидрогенераторы более тихоходны. Поэтому, например для машины ВГС 1525/135-120 с $n=50$ об/мин, это время составит 1,66...2,5 с.

С другой стороны $t_{cз}$ зависит от времени переходных процессов в СМ. Это вызвано тем, что при неповрежденном СМ сигнал с частотой $A_2 \cos(2\omega t / p)$ на входе фильтра появляется во время переходных процессов за счет наличия в ЭДС Δe_n аperiodической составляющей. В результате на выходе фильтра появляется ЭДС небаланса. Самой значительной величины ЭДС небаланса достигает при трехфазном коротком замыкании из режима холостого хода. Однако в

СМ быстродействующими защитами такое замыкание отключается за время 0,02...0,06 с.

Набор или сброс значительной части нагрузки у СМ, а также процесс возбуждения поля ротора происходит за время значительно превосходящее время срабатывания защиты.

Защита должна выдавать сигнал или отключать СМ если величина ЭДС выбранного информационного признака при замыкании витков в обмотке ротора превысит

$$\Delta e_{n2,cз} = \Delta e_{n2,нб} k_{омс},$$

где $k_{омс}=1,3-1,5$ – коэффициент отстройки, который учитывает неточность в определении.

Реализовывать устройство защиты от витковых замыканий и двойных замыканий на землю обмотки ротора проще всего на микропроцессорной базе или персональном компьютере. В этом случае математической основой его программного обеспечения будет метод численного разложения в ряд Фурье. В устройстве должна предусматриваться возможность работы в режимах УСТАВКА и ЗАЩИТА. В режиме УСТАВКА выставляется тип СМ, число p и расстояния между ДМП1 и ДМП2, согласование и измерение подаваемого на вход устройства с них сигнала, коэффициент отстройки $k_{омс}$, а также рассчитывается величина небаланса $\Delta e_{n,нб}$, время и порог срабатывания защиты. В режиме ЗАЩИТА устройство контролирует целостность обмотки ротора, а при ее повреждении в зависимости от числа замкнувшихся витков выдает сигнал обслуживающему персоналу или отключает СГ.

Литература

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.: Энергия. – 1976. – 559с.
2. Новожилов А.Н., Горюнов В.И., Полищук В.И., Воликова М.П., Новожилов Т.А. Способ защиты обмотки ротора синхронного генератора от витковых замыканий на двух индукционных преобразователях// Электричество. – 2010.- №8. – С65÷67.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОФАЗНЫХ УДП ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Свечканева А.А., Колганова Ю.Л.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: svechkanevaaa@mail.ru

В предыдущей работе «Плазмодинамический синтез ультрадисперсных оксидов железа» показана возможность синтеза гетерофазных ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа в высокоскоростной струе электроэрозионной плазмы, генерируемой коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами [1]. УДП получаемые в воздушной атмосфере при давлении P_0 от 0,5 атм. до 2,0 атм. состоят в основном из следующих кристаллических ферромагнитных фаз: магнетит Fe_3O_4 ; маггемит $\gamma-Fe_2O_3$; $\epsilon-Fe_2O_3$ – удельные намагничиваемости которых при комнатной температуре соответственно равны: $82,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$; $65,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$; $10,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$ [2]. Кроме того до 10,0% содержания кристаллических фаз приходится на антиферромагнетик гематит $\alpha-Fe_2O_3$. В УДП присутствует и аморфная фракция, содержание которой в образцах, собранных с постоянных магнитов в экспериментах при давлении воздуха 0,5 атм.; 1,0 атм.; 2,0 атм. – оценивается соответственно как 20%; 50%; 30%. Указанные особенности должны сказываться на магнитных свойствах синтезированных материалов.

Исследования магнитных свойств проведены на импульсном магнитометре Н-04 в полях до $13,0 \text{ кЭ}$ [3]. На рис.1 приведены кривые удельной намагниченности σ образцов УДП оксидов железа, собранных со стенок камеры-реактора (КР) (кривые 1, 2 и 3) и с постоянных магнитов, установленных в верхней части КР (кривые 4 и 5). Нижняя часть каждой кривой соответствует намагничиванию исходного размагниченного материала до насыщения с увеличением внешнего поля H . Верхняя часть – кривая размагничивания при уменьшении внешнего поля до нуля. В скобках у кривых намагниченности указаны значения удельной намагниченности насыщения σ_H . Видно, что образцы УДП полученные при давлении воздуха в КР 2,0 атм. (кривая 1) и 1,0 атм. (кривая 2) имеют высокие значения удельной намагниченности насыщения σ_H , близкие к объемным материалам и сравнимые с характеристиками наноматериалов, полученных лазерным синтезом [4], соответственно $65,0$ и $62,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$. Однако заметная разница этих значений и хода кривых намагниченности не случайна. Она обусловлена тем, что УДП полученный при $P_0=2,0 \text{ атм.}$ имеет большее значение около $50,0 \text{ нм}$ среднего размера области когерентного рассеяния ОКР (для УДП-средний размер частиц), определенного методом рентгеноструктурного анализа, чем у порошка, полученного при $P_0=1,0 \text{ атм.}$ – примерно $35,0 \text{ нм}$. Эти УДП содер-

жат примерно одинаково (до ~10%) количество рентгеноаморфного материала.

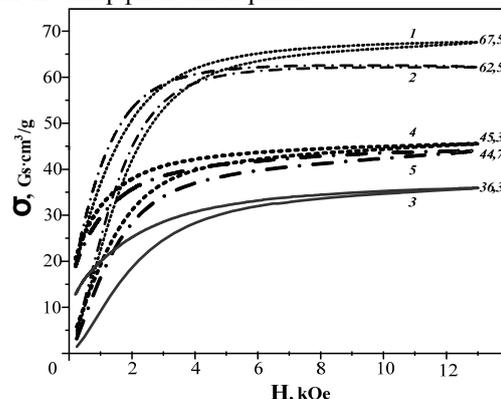


Рис.1. Кривые удельной намагниченности УДП оксидов железа

1,2,3 – для УДП, полученных при P_0 соответственно: $2,0 \text{ атм.}$; $0,5 \text{ атм.}$; $1,0 \text{ атм.}$ и собранных со стенок КР; 4,5 – для УДП, полученных при P_0 соответственно: $2,0 \text{ атм.}$ и $1,0 \text{ атм.}$ и собранных с магнитов

Существенное снижение σ_H порошка, синтезированного при $0,5 \text{ атм.}$ до $36,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$ (кривая 3, рис.1) можно объяснить только повышением до ~40,0% содержания рентгеноаморфной фракции со средним размером порядка $1,0 \text{ нм}$.

Наблюдаемое снижение σ_H для порошков, собранных с магнитов (кривые 4 и 5, рис.1), также обусловлено присутствием в их составе значительного количества рентгеноаморфной фракции оксидов железа. Согласно [5] физической причиной такого снижения σ_H является то, что при уменьшении размера до некоторого критического, частицы становятся практически одноименными. Дальнейшее уменьшение размера приводит к падению коэрцитивной силы H_C до нуля вследствие перехода в суперпарамагнитное состояние. Для нормальных ферромагнетиков с температурой Кюри $500-1000^\circ\text{К}$ исчезновение ферромагнетизма и переход в суперпарамагнитное состояние возможно при снижении размера менее $\sim 20 \text{ нм}$.

Заметное увеличение σ_H происходит при термообработке в воздухе, как это видно на примере УДП, полученного при $P_0=0,5 \text{ атм.}$ и собранного со стенок КР, кривые намагниченности которого приведены на рис. 2. После отжига при $T=600^\circ\text{C}$ намагниченность насыщения увеличились до $47,0 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$. Это обусловлено рекристаллизацией и увеличением среднего размера частиц (ОКР) магнитных фаз: $\gamma-Fe_2O_3$ до $\sim 75,0 \text{ нм}$ и $\epsilon-Fe_2O_3$ более 100 нм , с примерным сохранением их процентного соотношения.

Менее заметное увеличение магнитных характеристик того же УДП имеет место после его годичной выдержке в воздушной атмосфере при комнатной температуре, как это видно из сравнения кривых намагниченности 2 и 2' на рис. 2.

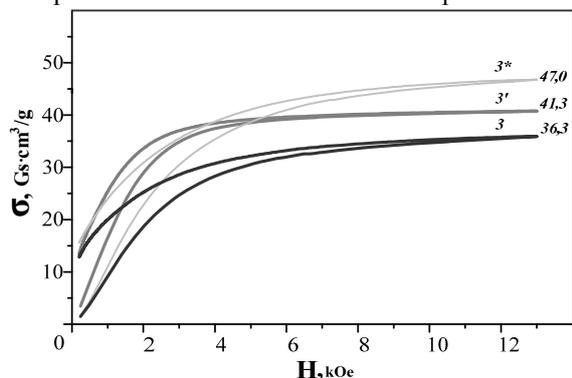


Рис.2. Кривые удельной намагниченности УДП, полученные при $P_0=0,5$ атм. и собранного со стенки КР; 3 – для исходного УДП после получения; 3* - для отожженного при $T=600^\circ\text{C}$ после получения; 3' – через 1 год после получения

Причина та же – увеличение размеров частиц, о чем свидетельствуют данные рентгеновского структурно-фазового анализа, показывающие увеличение ОКР магнитных фаз. Аналогичные эффекты характерны и для нанопорошков оксидов железа, полученных другими методами, например, механосинтезом [3].

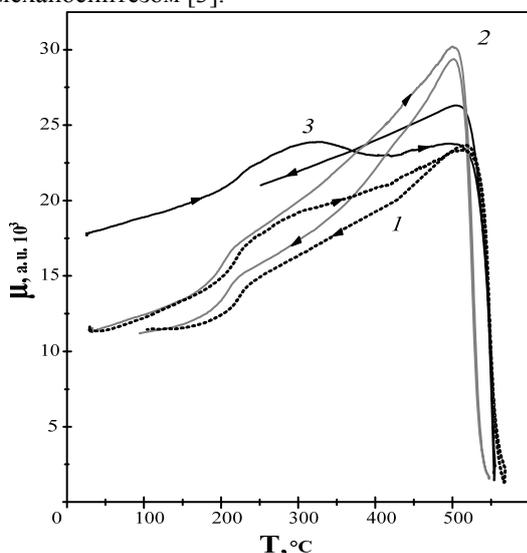


Рис.3. Температурные зависимости начальной магнитной проницаемости на частоте 10 кГц; 1 – УДП, полученный при $P_0=2,0$ атм.; 2 – при $0,5$ атм.; 3 – при $1,0$ атм.

Во многих приложениях эти эффекты неожидательны, так как приводят к существенному ухудшению свойств.

Для полноты характеристики гетерофазных УДП оксидов железа, получаемых плазодинамическим методом, сняты температурные зависимости начальной магнитной проницаемости μ на частоте 10 кГц, представленные на рис. 3. Стрелками на кривых $\mu(T)$ показано направление изменения температуры. Слабо выраженные аномалии на прямых и обратных ветвях кривых 1 и 2 в области $T \sim 220^\circ\text{C}$ возможно обусловлены эффектом Гопкинса для ϵ -фазы вблизи температуры Кюри, то есть переходом $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в парамагнитное состояние. Широкий диффузный максимум на прямой ветви кривой 3, соответствующей увеличению температуры, скорее всего соответствует температуре блокировки T_B наноразмерных частиц магнетита и маггемита. Полученные для рассматриваемых УДП значения температуры Кюри отличаются незначительно и соответственно равны: 567°C ; 547°C ; 553°C .

Проведенные исследования показали, что гетерофазные УДП оксидов железа, полученные плазодинамическим методом обладают высокими магнитными характеристиками, приближающимися с характеристиками объемных материалов. Это дает основания прогнозировать возможность их практического использования в указанных выше областях техники, биологии и медицины. Обнаруженные различия фазового состава содержания рентгеноаморфной фракции и вызванные этим изменением магнитных свойств ультрадисперсный порошок оксидов железа, собранных со стенок камеры-реактора и с установленных в ней постоянных магнитов, дают возможность для разработки способов разделения кристаллических фаз и рентгеноаморфной фракции непосредственно при проведении синтеза.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сивков А.А., Найден Е.П., Герасимов Д.Ю. Прямой динамический синтез нанодисперсного нитрида титана в высокоскоростной струе электроэрозионной плазмы// Сверхтвердые материалы. - 2008. - №5, с.33-39
2. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов// 1976. – 504с.
3. Найден Е.П., Итин В.И., Терехова О.Г. Процессы старения в наноразмерных порошках феррошпинелей// ФТТ. – 2009. – №8
4. Осипов В.В., Платонов В.В., Уймин М.А., Подкин А.В. Лазерный синтез нанопорошков магнитных оксидов железа// Журнал технической физики -2012- т. 82, вып.4, с.123-129
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии// 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАЛИТ. – 2009. 416 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВСТАВКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ УСТАНОВКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Серебренников Д.А.

Научный руководитель: Плотников И.А. к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: xseredax@gmail.com

Электроснабжение децентрализованных зон осуществляется малыми электростанциями, основу которых составляют дизельные электростанции (ДЭС). Их широкое применение обусловлено рядом достоинств, но вместе с тем эти электростанции обладают и значительными недостатками такими, как загрязнение окружающей среды и большой расход органического топлива на выработку 1 кВт ч электроэнергии.

Одно из возможных решений этих проблем является использование возобновляемых источников энергии: ветра, солнца, геотермальной и т.п. Так как автономные системы электроснабжения нуждаются в гарантированном источнике питания, наиболее эффективным будет использование гибридных систем электроснабжения таких как, ветро-дизельные или ветро-фото-дизельные энергетические установки.

Большинство находящихся в эксплуатации и предлагаемых на рынке автономных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии, являются технически законченными изделиями, адаптированными под строго определенный тип энергетического оборудования, не допускающие возможности расширения их функциональных возможностей и наращивания мощностей за счет подключения новых генерирующих источников. Это обусловлено главным образом, тем обстоятельством, что параметры генерируемой электроэнергии установками возобновляемой энергетики существенно различаются по основным техническим показателям, таким как род тока, частота и величина выходного напряжения.

Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных технических устройств, обеспечивающих возможность объединения в рамках единой энергетической системы разнотипных энергетических установок с возможностью эффективного управления режимами их работы, является негативным фактором развития малой энергетики России и в то же время актуальной научной и технической задачей для практического решения.

Возможно несколько схем сопряжения ДЭС, ветроэнергетической установки (ВЭУ) и фотоэлектрической установки (ФЭУ). Например, когда источники электроэнергии подключаются непосредственно к распределительной сети объекта без промежуточного преобразования электроэнергии. Система управления станцией при этом должна обеспечивать синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу.

Эта система автономного электроснабжения

проста для реализации, что позволяет легко масштабировать систему, устанавливая например, несколько ВЭУ. Отсутствие дополнительных преобразований электроэнергии определяет высокий КПД энергетической системы в целом. Однако, данный способ требует наличия на выходах электрических генераторов заданных, одинаковых и постоянных значений напряжений и частот сети, что подразумевает применение ВЭУ со сложными системами аэродинамической стабилизации частоты вращения ветроколеса и мультипликатором, или с использованием асинхронной машины с фазным ротором, при соответствующем ее управлении от сетевого инвертора.

Подобный тип ВЭУ характерен для «большой» ветроэнергетики и находит крайне ограниченное применение при построении малых энергетических систем ввиду большой стоимости энергоустановок. В настоящее время в малой ветроэнергетике преимущественное распространение получили безредукторные конструкции ВЭУ с многополюсными электрическими генераторами на постоянных магнитах, работающими на переменной частоте вращения ветроколеса, что обеспечивает высокую эффективность использования первичной энергии воздушного потока при относительно невысокой стоимости ветроэнергетической установки. Для включения такого типа ВЭУ в состав рассматриваемой электростанции, для каждой ветроэнергетической установки необходим индивидуальный преобразователь, построенный по схеме выпрямитель-инвертор.

Необходим индивидуальный инвертор и для каждой ФЭУ, включаемой в состав автономной энергосистемы, и двунаправленный преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение для буферного накопителя электроэнергии, который в большинстве практических случаев выполняется на базе аккумуляторных батарей.

Исключить отмеченные недостатки позволяет вариант сопряжения, с использованием вставки постоянного тока (промежуточной шины постоянного тока), показанный на рис. 1. Несмотря на более сложную структуру энергетического комплекса и учитывая, что стоимость силовой электроники с каждым годом снижается, а ее удельная мощность растет [1], приведенный способ имеет большие преимущества по сравнению с рассмотренным выше. Здесь не требуется согласовывать режимы работы ВЭУ, ФЭУ и дизель-генератора (ДГ) между собой, что позволяет управлять этими агрегатами, исходя из требуемых критериев оптимальности. Система легко масштабируется. Достаточно

просто решаются задачи электромагнитной совместимости. В данной схеме построения электростанции потребители запитаны от общего автономного инвертора, чем обеспечивается высокое качество отпускаемой электрической энергии. Значительно упрощаются схемы преобразователей для подключения ФЭУ и накопителя энергии, в состав системы через управляемый выпрямитель могут быть подключены ВЭУ с переменной частотой вращения.

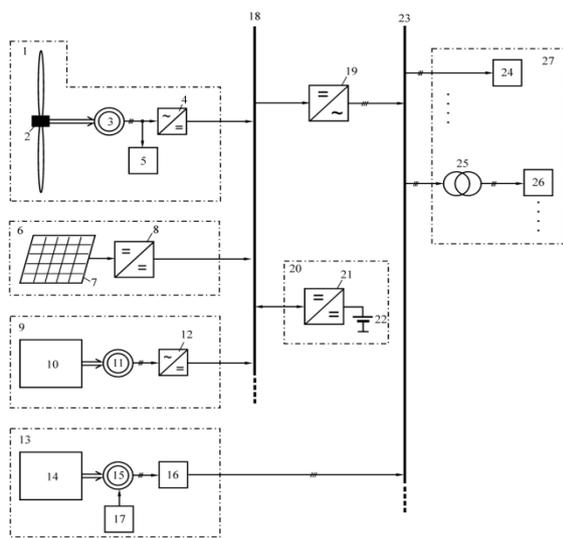


Рис. 1 –Схема гибридной электростанции с подключением силовых модулей к промежуточной шине постоянного тока: 1 – ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3, 11, 15 – синхронный электромашинный генератор; 4, 12 – управляемый выпрямитель; 5 – блок балластных нагрузок; 6 – фотоэнергетическая установка; 7 – солнечная панель; 8 – конвертор напряжения; 9, 13 – дизель-генератор; 10, 14 – дизельный двигатель; 16 – устройство плавного пуска; 17 – регулятор тока возбуждения; 18 – шина постоянного тока; 19 – инвертор напряжения; 20 – буферный накопитель электроэнергии; 21 – двунаправленный импульсный преобразователь; 22 – блок аккумуляторных батарей; 23 – шина переменного тока 220/380 В 50 Гц; 24 – потребители электроэнергии; 25 – силовой повышающий трансформатор; 26 – потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 27 – объект децентрализованного электроснабжения

В рассматриваемой схеме большую роль играют электронные силовые преобразователи. Повысить их универсальность можно путем их реализации по модульному принципу. Требуемые номинальные напряжения и мощности можно получить путем последовательно-параллельного соединения унифицированных силовых модулей. Это позволит

снизить рабочие напряжения отдельных модулей и использовать в них ключи на полевых транзисторах (MOSFET).

Система управления такой гибридной электростанцией должна иметь двухуровневую иерархию. Центральный контроллер должен обеспечивать оптимальное управление потоками энергии в энергетическом комплексе, исходя из критериев максимума отбора мощности от источников на основе установок возобновляемой энергетики. Контроллеры второго уровня должны обеспечивать работу силовых электронных преобразователей, работающих параллельно друг другу.

Параллельная работа преобразователей может обеспечиваться разными способами. Например, в источниках бесперебойного питания, широко используется способ «ведущий - ведомый». Здесь один «ведущий» источник работает в режиме стабилизации выходного напряжения шины постоянного тока, а другие в режиме стабилизации выходного тока. В нашем случае такой вариант невозможен, т.к. мощности генерирующих источников в каждый момент времени могут существенно изменяться и часть источников (например, ДГ) выводится из работы. Также следует отметить, что генерируемые мощности установок возобновляемой энергетики сильно зависят от окружающей среды (метеорологической обстановки), что необходимо учитывать при управлении энергокомплексом.

Таким образом, для построения энергетического комплекса на установках возобновляемой энергетики с использованием вставки постоянного тока решается ряд задач:

- разработать алгоритмы управления силовыми преобразователями генерирующих агрегатов, работающих параллельно на одну нагрузку;
- разработать стратегию управления отбором мощности с учетом прогнозируемого суточного графика нагрузки потребителя, метеорологических и других факторов;
- разработать оптимальный режим заряда-разряда аккумуляторных батарей буферного накопителя электроэнергии для согласования графиков выработки и потребления электроэнергии.

Данная работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» по направлению «Новые возобновляемые источники энергии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kazmierkowski M.P., Krishnan R., Blaabjerg F. Control in Power Electronics. Selected Problems. – Elsevier Science (USA), 2002. -518p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ УСКОРИТЕЛЕ МАКРОТЕЛ

Степанов Е.Ю.

Научный руководитель: Буркин В.В., к. ф-м. н.
Томский Государственный Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,36
E-mail: Apero@sibmail.com

Электродинамические ускорители макротел (ЭДУМ) в лабораторных условиях могут использоваться для изучения высокоскоростного взаимодействия метаемоых тел (МТ) с разными вариантами защитных устройств. Одним из преимуществ электродинамических метаемоых систем относительно классических пороховых баллистических установок является отсутствие в эксперименте взрываемоых материалов. Этим существенно упрощается технологический регламент проведения работ и снижается уровень техники безопасности в период подготовки (заряжания) установки к выстрелу. Другими факторами, стимулирующими применение ЭДУМ, является широкие диапазоны баллистических характеристик МТ по их массам и скоростям взаимодействия с преградами, а также обеспечение выстрела по мишени высокотемповой очередью.

«Слабым» звеном применения ЭДУМ является низкий КПД преобразования энергии источника в кинетическую энергию МТ или нескольких МТ, ускоряемоых с помощью однократного разряда накопителя энергии.

В данной работе с помощью математической модели, аналогичной [1], исследуется преобразование энергии емкостного накопителя в ЭДУМ, в случае ускорения на одном импульсе тока нескольких МТ, последовательный ввод которых в рельсовый блок (РБ) может осуществляться с заданной задержкой рис. 1.

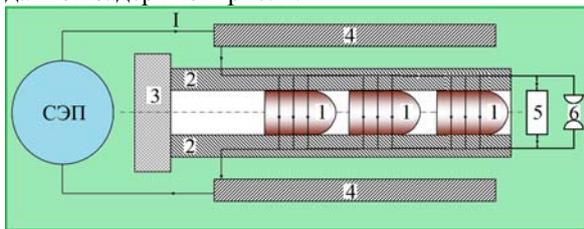


Рис. 1. Принципиальная схема ускорителя:
СЭП – система электропитания, I – ток,
1 – метаемоые тела, 2 – рельсовый блок,
3 – преускоритель, 4 – система подмагничивания,
5 – высокоомная нагрузка, 6 – разрядник

Перераспределение энергии емкостного источника, вводимой в ускоритель, может происходить одновременно между несколькими метаемоыми телами и высокоомным резистором, гальванически замыкающим рельсовые направляющие. Анализ энергозатрат в условиях нахождения в рельсовом блоке 2-х или 3-х МТ, проводился в соответствии со схемой преобразования энергии показанной на рис. 2.

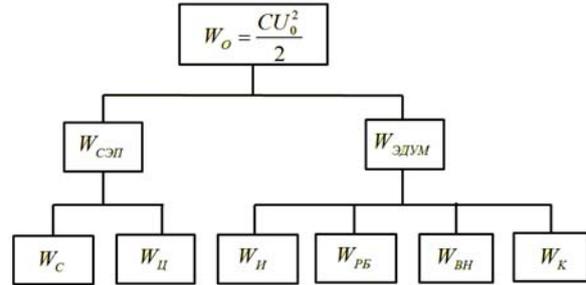


Рис. 2. Преобразование энергии при выстреле ЭДУМ.

W_0 – начальная энергия емкостного накопителя, $W_{СЭП}$ – энергия вводимая в ускоритель, $W_{СЭП}$ – энергия СЭП, $W_С$ – $W_С$ – сущая энергия емкостного накопителя, $W_Ц$ – энергия цепи, $W_И$ – энергия на индукторе, $W_{РБ}$ – энергия на рельсовом блоке, $W_{ВН}$ – энергия на высокоомной нагрузке, $W_К$ – кинетическая энергия МТ

Параметры установки, заложенные в математическую модель, конкретизировались в соответствии с результатами сравнения экспериментальных и расчетных данных при выстреле одного МТ. Система измерения положения МТ в рельсовом блоке ЭДУМ и токовых диаграмм рассмотрены в [2]. В качестве примера на рис. 3. Приведены типичные токовые зависимости и траектории МТ в рельсовом блоке в сравнение с расчетными зависимостями.

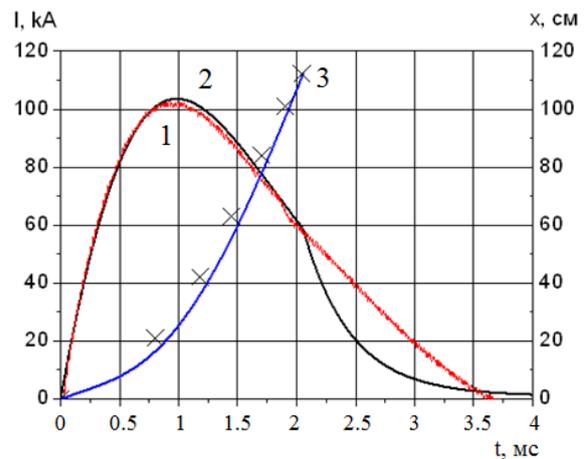


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных параметров выстрела ЭДУМ
ток: 1 – эксперимент, 2 – расчет;
траектория МТ: x – эксперимент, 3 – расчет

Отметим достаточно адекватное описание математической модели токов и кинематических характеристик МТ на этапе его ускорения. КПД пре-

образования энергии емкостного накопителя в кинетическую энергию МТ в данном случае не превышал 5%.

Аналогичные исследования выполнены для 2-х и 3-х МТ. На рис. 4 приведены расчетные токовые и траекторные характеристики для 2-х МТ. Соответственно на рис. 5 для 3-х МТ.

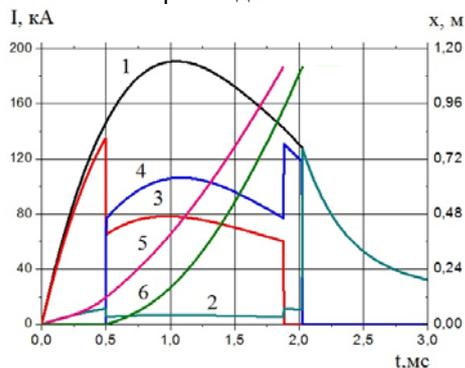


Рис. 4 Токовые и траекторные характеристики для 2-х МТ. 1 – общий ток, 2 – ток на высокоомной нагрузке, 3 – ток на 1-ом МТ, 4 – ток на 2-ом МТ, 5 – траектория движения 1-го МТ, 6 – траектория движения 2-го МТ

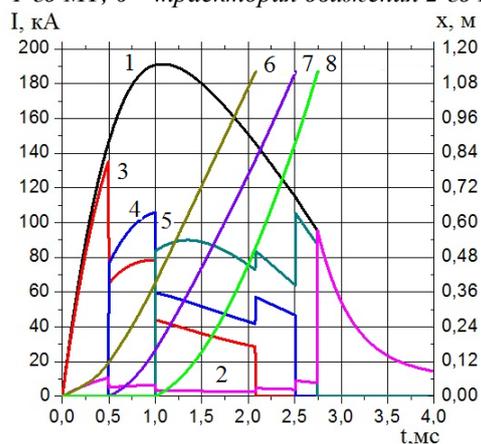


Рис. 5 Токовые и траекторные характеристики для 3-х МТ. 1 – общий ток, 2 – ток на высокоомной нагрузке, 3 – ток на 1-ом МТ, 4 – ток на 2-ом МТ, 5 – ток на 3-ом МТ,

6 – траектория движения 1-го МТ, 7 – траектория движения 2-го МТ, 8 – траектория движения 3-го МТ

Расчеты показали сложную картину изменения тока в ЭДУМ в случае ускорения нескольких МТ. При входе в РБ очередного МТ происходит коммутация тока на него, интенсивный рост тока в нем и, соответственно, снижение токовой нагрузки на предыдущем МТ.

Энергетические характеристики при выстреле 2-х или 3-х МТ приведены на рис. 6,7

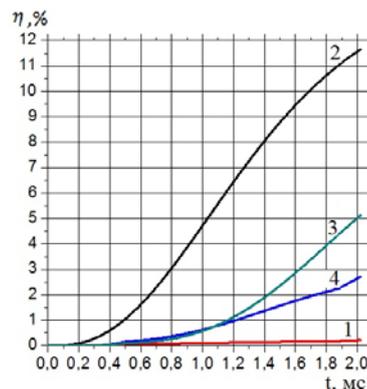


Рис.6 Энергетические характеристики для 2-х МТ
Потери энергии: 1 – на высокоомной нагрузке, 2 – на системе подмагничивания, 3 – на РБ. 4 – КПД МТ (1 МТ+2 МТ)

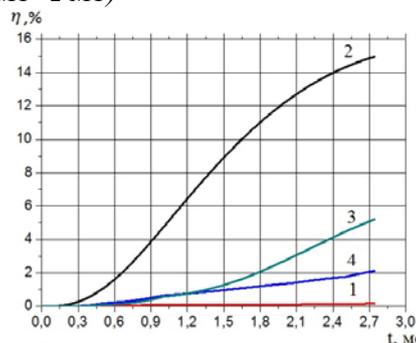


Рис.7 Энергетические характеристики для 2-х МТ
Потери энергии: 1 – на высокоомной нагрузке, 2 – на системе подмагничивания, 3 – на РБ. 4 – КПД МТ (1 МТ+2 МТ)

КПД преобразования энергии емкостного накопителя в суммарную кинетическую энергию МТ оказался критичен к временному интервалу между входом первого и последующих МТ. В данном случае он составлял 500 мкс. Видно, что КПД для нескольких МТ не превышает 3%. С увеличением интервала до 900 мкс КПД начинает незначительно расти.

Разработанную модель планируется использовать для поиска оптимальных условий ввода МТ в рельсовый блок в зависимости от интервала ввода и масс МТ с целью обеспечения заданных характеристик динамической нагрузки на конкретных мишенях.

Список литературы:

1. Дьяков Б.Б., Резников Б.И. Электромагнитные рельсовые метатели: состояние проблемы и элементарная теория. Ленинград, 1985. - 39 с.
2. Ищенко А.Н., Буркин В.В., Степанов Е.Ю. и др. Система измерения временных интервалов для испытаний электродинамического ускорителя масс // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики. Томск. 2011 г. С. 160-161.

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В МУЙСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

Стреляев С.Е.

Научный руководитель: Шакиров В.А., к.т.н., доцент
Братский государственный университет, 665709, Россия, г. Братск, ул. Макаренко, 40
E-mail: sviat88@bk.ru

Завершение строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали открыло путь к созданию в регионах Сибири и Дальнего Востока крупнейших промышленно-экономических комплексов по освоению богатых природных ресурсов этих регионов.

Но до сих пор так и не была развернута масштабная работа по вовлечению неосвоенных месторождений прилегающих к БАМу регионов.

Во времена строительства БАМа посёлки, стоящие на пути “стройки века”, испытывали приток населения за счёт строителей и развитие инфраструктуры. По завершении строительства и до сих пор происходит отток рабочего населения в города и крупные промышленные центры, с каждым годом экономические показатели занятого в хозяйственной сфере населения падают. Объектом внимания в данной статье является северо-восток республики Бурятия и север Забайкальского края.

Муйский район республики Бурятия характеризует значительный потенциал разведанных запасов полезных ископаемых, таких как черные, цветные, редкие металлы и элементы. В пределах района разведаны более 60 месторождений и проявлений рудного, россыпного золота, широкий спектр строительных материалов и сырья для их производства, платины, олова, серебра, ювелирных, поделочных и облицовочных камней. Из всех полезных ископаемых - золото, хризотил-асбест, цементное сырье, прочие стройматериалы, олово, ртуть, нефрит - основной вес учтенных запасов падает на первых три вида, при этом более 90% потенциальной извлекаемой ценности приходится на запасы и ресурсы рудного золота [1].

В Чарской долине Каларского района Забайкальского края на относительно небольшой площади выявлены месторождения медистых песчаников (Удоканское месторождение), медных сульфидных и титаномagnetитовых руд (Чинейское месторождение), железистых кварцитов (Чарское), угля (Апсатское и Читкандинское), сынныритов (Сакуканское) и другие полезные ископаемые. Эти месторождения должны составить основу Удоканского территориально-производственного комплекса [1].

Ввиду этого, можно сказать, что Муйский и Каларский районы обладают высокой концентрацией ресурсного потенциала.

В настоящее время возникла ситуация, когда мощные соседние источники электроэнергии – Братская и Усть-Илимская ГЭС с одной стороны, Зейская ГЭС – с другой, оказались на расстоянии примерно 2 тыс. км друг от друга, а пропускные способности построенных ЛЭП фактически исчерпаны. Выработка электроэнергии Мамаканской ГЭС, находящейся в Бодайбинском районе Иркутской области, полностью потребляется местной нагрузкой. Появление любых новых потребителей электроэнергии в Муйском или

Каларском районах неизбежно потребует сооружения новых генерирующих мощностей.

Основой развития рассматриваемых районов должна стать Мокская ГЭС мощностью 1410 МВт.

ГЭС рассматривается как источник энергоснабжения предприятий, планирующих разработку ряда перспективных месторождений в Восточной Сибири, в частности, Удоканского месторождения меди, Озерного свинцово-цинкового месторождения, месторождений урана. Также ГЭС рассматривается как основа электрификации БАМа, как один из источников покрытия дефицита Бурятской энергосистемы. Возможен экспорт части вырабатываемой ГЭС электроэнергии в Китай. Строительство Мокского гидроузла с крупным водохранилищем позволит создать базу гидроэнергостроительства каскада нижележащих ГЭС – Витимской, Янгудинской и Каралонской в Бурятии, а также Сигнайской и Бодайбинской в Иркутской области.

Но здесь имеются свои трудности, в частности не определено, сколько земель будет затоплено и навсегда выведено из обращения, не подсчитан ущерб от затопления, в ходе которого будет вырубаться лес, пострадают пастбища. Кроме того, в результате падения уровня Витима возможно нарушение водоснабжения населенных пунктов, расположенных ниже по течению на территории Иркутской области и Якутии. Пострадают также инфраструктура речного порта и всей навигации на Угрюм-реке, по которой сегодня производится «северный завоз». Да и строительство самой Мокской ГЭС проблематично из-за экономических трудностей, проблем с высокой сейсмичностью. Кроме того, срок строительства составляет 10-12 лет.

Исходя из вышеперечисленного, решением проблемы может стать строительство ТЭС мощностью порядка 200 МВт для покрытия потребностей развивающихся производств и перспективных энергозависимых проектов. Сроки строительства ТЭС много меньше сроков возведения ГЭС, и по затратам они не сопоставимы.

Благоприятную возможность для строительства ТЭС создают месторождения углей, близость железнодорожной магистрали. Апсатское месторождение коксующихся каменных углей находится в 25 км к северо-западу от поселка Чара. Запасы их оцениваются приблизительно в 2 млрд. т, в том числе запасы углей, пригодных для отработки открытым способом, составляют 300-350 млн. т. Читкандинское месторождение каменного угля расположено в Средне-Каларской депрессии в 35 км от Удоканского месторождения медной руды. Строительство ТЭС большой мощности на севере Каларского района в непосредственной близости от угольных месторождений обуславливает ряд экологических и социальных сложностей. На территории Каларского района находится

песчаный массив, утвержденный как геологический памятник природы геоморфологического типа федерального ранга [2]. Также к геологическому памятнику природы федерального значения относятся ледники Кодара. Хребет Кодар ограничивает Чарскую котловину [2]. Чарская долина Каларского района представляет собой глубокую, изолированную межгорную котловину. При строительстве крупной электростанции могут пострадать горные районы: выбросы золы, частиц угля приведут к переменам в объеме снежной массы и в рисунке течения рек. Может смениться весь режим времени таяния снегов, что приведет к экологическим нарушениям.

В связи с этим предлагается пунктом размещения ТЭС выбрать Муйский район.

Наилучшим местом для строительства ТЭС является центр Муйского района, посёлок городского типа Таксимо. В Таксимо стыкуются электрифицированный и неэлектрифицированный участки БАМа.

Размещение станции в Таксимо позволяет максимально приблизить источник ко всем энергоёмким пунктам района, Верхнеленскому, Мамско-Бодайбийскому, Удоканскому и Северо-Байкальскому ТПК. Реализация такого проекта может стать возможной при объединении усилий АО Энерго, администраций Иркутской области, Забайкальского края, Республики Бурятия.

Риск и потенциальные последствия любых конкретных решений по размещению генерирующих мощностей, развитию электрических сетей очень велики, что обуславливает необходимость проведения формализованного анализа.

Предпочтительность одной площадки под строительство энергогенерирующего объекта по отношению к другой зависит от множества факторов. Имеется пять следующих главных групп факторов, на рассмотрении которых базируется вся проблема размещения энергетических объектов [3]:

- факторы окружающей среды;
- экономические факторы;
- социально-экономические факторы;
- факторы здоровья и безопасности населения;
- факторы общественного мнения.

Изучение их всех и определяет проблему размещения.

Различные площадки могут отличаться разным влиянием этих факторов. Это заставляет проводить тщательное исследование альтернатив размещения энергетического объекта.

Рассматриваемые варианты должны характеризоваться оценками по критериям с учетом неопределенности в оценке воздействий и возможными изменениями динамики показателей.

Проведение анализа, сравнение альтернатив должно быть многоэтапным и многоуровневым.

Необходим учет предпочтений многих групп лиц, при этом предпочтения могут изменяться во времени.

При решении задачи по выбору площадки должна быть построена иерархия целей и для каждой цели наиболее низкого в иерархии уровня должен быть определен соответствующий критерий. Для определения соотношения целей и критериев согласно иерархии целей пользуются функциями полезности – формальными выражениями зависимости, которые связывают полезность как результат некоторого действия с уровнем (интенсивностью) этого действия.

Общая форма функции полезности:

$$u = u(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где x_1, \dots, x_n – факторы, влияющие на полезность u .

Многокритериальная функция полезности может быть полностью определена однокритериальными функциями полезности и значениями весовых коэффициентов, характеризующих ценностные соотношения между критериями. Определение структуры ценностей в отношении разработанных критериев – ответственный, трудоемкий этап – предполагается использование элементов интеллектуального анализа данных.

В настоящее время, когда имеются и близко расположенные источники топлива, и сама необходимость в энергогенерирующем объекте, “камнем преткновения” является вопрос инвестиций. Необходимо заинтересовать частный капитал в перспективах такого строительства, здесь отталкивающим фактором является продолжительность строительства объекта и срок его окупаемости. Но необходимо привлечь внимание инвесторов востребованностью планируемого энергообъекта в деле освоения ресурсов прилегающих территорий. Возможно также участие государства при включении будущего объекта в программу по развитию области, региона.

Литература

1. Козловский Е.А. БАМ глазами геолога / Е.А. Козловский. – М.: Недра, 1986.–204 с. : ил.
2. Геологические памятники природы России / А.М. Карпунин, С.В. Мамонов, О.А. Мироненко, А.Р. Соколов. – М.: Лориен, 1998. – 200 с.
3. Размещение энергетических объектов / Кини Р. Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат 1983.-320 с., ил.

РАЗРАБОТКА И ИСЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Стрыжков А. Е.

Научный руководитель: Лебедев С. М., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: stryshkov_ae@mail.ru

Приведены результаты высоковольтных испытаний изготовленных композиционных полимерных образцов, исследования температурно-частотных зависимостей проводимости и фазового угла между током и напряжением. Установлено, что введение карбида кремния в полимерную матрицу приводит к изменению коэффициента нелинейности вольт-амперных характеристик, проводимости и фазового угла между током и напряжением.

Одним из перспективных направлений материаловедения, является создание новых композиционных полимерных материалов (КПМ) с заданными характеристиками. Такие материалы могут найти применение, в изготовлении полупроводниковых приборов, а так же для выравнивания электрического поля в концевых разделках кабелей. Создание КПМ с заданными электрофизическими свойствами возможно при условии хорошей совместимости матрицы и наполнителя.

В качестве матрицы для изготовления образцов были использованы полимерные материалы поливинилиденфторид (ПВДФ) и линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП). В качестве наполнителя применялся порошок SiC со средним размером зерна 64 мкм и 1 мкм.

Приготовление сухих смесей композиционных полимерных материалов осуществлялось с помощью активатора планетарного марки АГО-2С. Образцы для исследований изготавливались из приготовленных смесей методом горячего прессования [1]. Состав исследуемых композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1. Состав исследуемых полимерных композиций на основе ПВДФ и ЛПЭНП.

Содержание SiC в ПВДФ, вес. %	Содержание SiC в ЛПЭНП, вес. %
0	0
15	15
20	20
25	25
30	30
35	35
40	40
25 (исх.)	-

Измерения вольт-амперных характеристик осуществлялись с помощью высоковольтной установки постоянного тока на напряжение от 0 до 1500 В. Методика проведения измерений удельных сопротивлений подробно описана в [2].

Измерения температурно-частотных зависимостей проводимости и фазового угла между током и напряжением при температурах от комнатной до 100°C для всех исследованных материалов проводились с помощью измерительного комплекса Solartron Analytical на переменном напряжении 3 В в диапазоне частот от 10⁻¹ до 10⁶ Гц [3].

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики для ЛПЭНП и композиций на его основе при различной концентрации карбида кремния: 15, 20, 25, 30, 35, 40 вес.%. Для образцов из ЛПЭНП характерна линейная зависимость тока от напряжения (закон Ома). ВАХ для образцов с наполнителем из карбида кремния имеют явно выраженный нелинейный характер с двумя линейными участками с разными углами наклона в области низких и высоких напряжений [4-6]. Варьирование концентрации наполнителя позволяет существенно изменять вид ВАХ: угол наклона (степень нелинейности), а также координату точки перегиба. Это можно объяснить тем, что при повышении концентрации наполнителя увеличивается взаимодействие частиц карбида кремния за счёт уменьшения расстояния между ними и образования своеобразных «мостиков» из частиц наполнителя с прослойками материала полимерной матрицы.

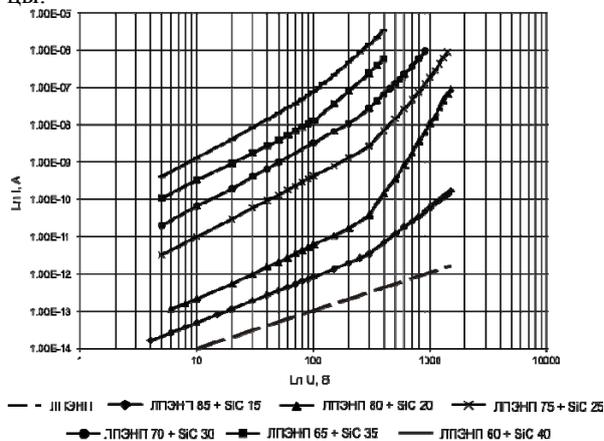


Рис. 1. ВАХ композиционных полимерных материалов ЛПЭНП+SiC.

На рис. 2 представлены вольт-амперные характеристики для ПВДФ и композиций ПВДФ+SiC. ВАХ для этих материалов аналогичны зависимостям, приведенным на рис. 1 для ЛПЭНП.

На рис. 3 представлены зависимости $\gamma_a = f(F, C)$ для ПВДФ из которых видно, что проводимость композиций по сравнению с ПВДФ увеличивается при увеличении содержания SiC: более чем в 5 раз в области высоких частот, в области низких частот – более чем в 140 раз и почти в 350 раз в области промышленной частоты 50 Гц.

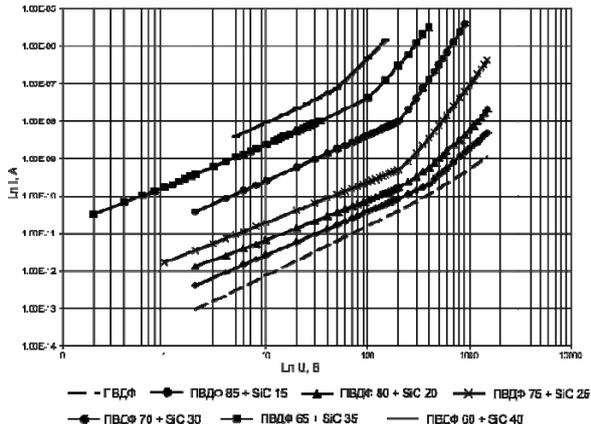


Рис. 2. ВАХ композиционных полимерных материалов ПВДФ + SiC.

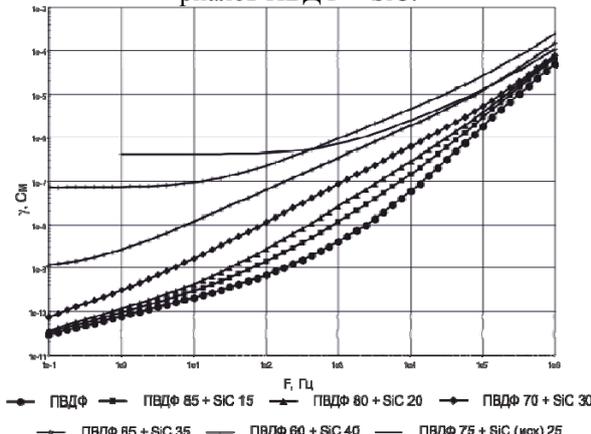


Рис. 3. Зависимости $\gamma = f(F, C)$ для ПВДФ.

На рис. 4 представлены зависимости фазового угла между током и напряжением $\varphi = f(F, C)$ для ПВДФ и композиций на его основе.

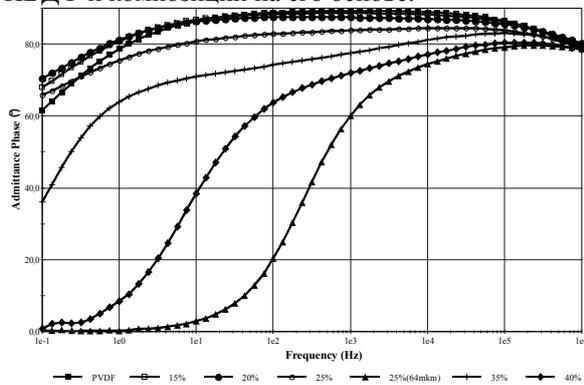


Рис. 4. Зависимости $\varphi = f(F, C)$ для ПВДФ.

Видно, что во всем диапазоне частот от 10^{-1} до 10^6 Гц как для ПВДФ, так и для композиций с содержанием SiC до 25 вес.% наблюдается изменение угла φ в диапазоне от 78 до 80° (соответственно угла диэлектрических потерь δ от 12 до 10°) – в области высоких частот и от 62 до 70° (угол δ от 28 до 20°) – в области низких частот. В области средних частот для ПВДФ и композиций с содер-

жением SiC до 25 вес.% угол φ находится в диапазоне 83–89° (угол δ от 7 до 1°). Для композиций с содержанием SiC более 25 вес.% угол φ резко уменьшается при уменьшении частоты. То есть диэлектрические потери на проводимость для этих композиций резко возрастают, а $\text{tg}\delta$ становится больше единицы. Наиболее заметное уменьшение фазового угла наблюдается для композиции ПВДФ + 25 вес.% со средним размером зерна SiC – 64 мкм. Это лишний раз свидетельствует о том, что применение карбида кремния с зерном 64 мкм нецелесообразно по причине неконтролируемого уменьшения сопротивления таких композиций при повышении содержания SiC более 25 вес.%.

Заключение

1. Уменьшение среднего размера зерна карбида кремния приводит к более однородному распределению наполнителя в полимерных матрицах.
2. При содержании карбида кремния в полимерных матрицах более 25 вес.% на вольт-амперных характеристиках наблюдается появление нелинейного участка при пороговом значении испытательного напряжения.
3. С увеличением содержания SiC в полимерах происходит смещение точки перегиба ВАХ в область меньших значений испытательного напряжения.
4. При содержании карбида кремния более 25 вес.% проводимость практически определяется проводимостью наполнителя.

Список литературы:

1. Gefle O.S., Lebedev S.M., Uschakov V.Y. The mechanism of the barrier effect in solid dielectrics // J.Phys. D: Appl. Phys. – 1997. – Vol. 30. – P. 3267–3273.
2. ГОСТ Р 50499 – 93. Материалы электроизоляционные твёрдые. Методы определения удельного объёмного и поверхностного сопротивления.
3. Solartron Analytical. Impedance/Gain-Phase Analyzer 1260 and Dielectric Interface 1296, Operating manual. – 2001; <http://www.solartronanalytical.com>.
4. Лебедев С.М., Лещенко Л.И., Гефле О.С. Эластомерные материалы с нелинейной вольт-амперной характеристикой для высоковольтных кабелей // Электричество. – 1994. – № 11. – С. 63–66.
5. Roberts A. Stress grading for high voltage motor and generator coils // IEEE Electrical Insulation Magazine. – 1995. – Vol. 11. – P. 26–31.
6. Rivenc J.P. and Lebey T. An overview of electrical properties for stress grading optimization // IEEE Trans. DEI. – 1999. – Vol. 6. – P. 309–318.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ

Сурков М.А., Пупасов-Максимов А.М.

Научный руководитель: Чернов Д.Е., к.ф.-м.н.

ЗАО «Сибкон», 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 27,

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: masur@yandex.ru

Около 70 % территории Российской Федерации относится к зоне децентрализованного энергоснабжения с преимущественным использованием дизельных электростанций (ДЭС) в качестве основных локальных источников электрической энергии. Задача повышения энергоэффективности локальных комплексов электроснабжения является актуальной и имеет важное значение для социально-экономического развития страны.

В данной работе рассматривается комбинированный ВГГД-комплекс (Ветро-Гелио-Гидро-Дизельный) состоящий, в общем случае из 4 типов генерирующих установок. Структура комплекса задается значением установочной мощности и количеством генерирующих установок каждого типа.

Целью работы является разработка математической модели, предназначенной для выбора оптимальной структуры локальной энергосистемы на основе формализованных данных по имеющимся технологиям, технологическим решениям, климатическим и геофизическим условиям, тарифам и прогнозам.

Под оптимальной структурой локального комплекса энергоснабжения понимается структура, для которой стоимость выработки электроэнергии является минимальной. Поскольку на практике номинальная мощность установок принадлежит дискретному множеству значений, рассматриваемая задача выбора оптимальной структуры энергосистемы является задачей дискретной оптимизации. Один из стандартных методов решения этой задачи заключается в последовательном отсеивании вариантов, не удовлетворяющих заданным критериям. В математической литературе такой способ решения задач комбинаторной и дискретной оптимизации известен как метод ветвей и границ. Для реализации метода ветвей и границ необходима процедура ветвления, заключающаяся в разбиении области допустимых решений на подобласти, и процедура нахождения оценок (фильтрация).

Для применения метода ветвей и границ к поставленной задаче необходимо определить обоснованные критерии фильтрации. Наиболее обоснованным, был бы выбор критериев на основе полной информации о многообразии конструктивных и структурных решений и их экономической эффективности, в том числе и при изменении стоимостных параметров задействованных в энергосистеме установок. Очевидно, при наличии такой информации, применение метода ветвей и границ не имеет смысла. Однако, задача получения полной информации об экономической эффек-

тивности всех возможных автономных энергосистем является слишком сложной и избыточной. Естественный выход – упрощение описания модели энергосистемы, решение этой приближенной задачи и выбор критериев, по которым можно будет формировать оптимальную структуру. Конечная цель работы – минимизировать стоимость выработки энергии, необходимой потребителю.

Исходными данными являются параметры потребителя электрической энергии и потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в данном регионе, а также, характеристики доступных на рынке генерирующих установок. В качестве независимых переменных выступают номинальные мощности генерирующих установок, использующих разные ВИЭ. В первом приближении можно ограничиться рассмотрением простейшей энергосистемы состоящей из набора генераторов. Данный набор обязательно включает генератор на органическом топливе (ДЭС), а также комбинацию из генераторов на энергии ветра, солнца или воды. Поскольку одно из основных требований к автономной энергосистеме заключается в бесперебойности электроснабжения, мощность ДЭС в рассматриваемой модели является фиксированной величиной, определяемой пиковым потреблением электроэнергии.

При решении задач с множеством переменных, зачастую, оказывается, более удобно перейти к непрерывному аналогу. Основная идея заключается в том, чтобы аппроксимировать гладкими функциями параметры, характеризующие энергосистему в целом и ее блоки в частности.

Можно выделить три основные функциональные зависимости.

1) Ценовая характеристика генератора, или изменение удельной стоимости кВт установленной мощности в зависимости от номинальной мощности генератора.

2) Характеристика эффективности преобразования энергии генератором, или мощность, вырабатываемая генератором с некоторой фиксированной (единичной) номинальной мощностью, в зависимости от потока энергии (скорость ветра, поток солнечной энергии, расход воды, расход топлива).

3) Характеристика источника энергии.

Рассмотрим целевую функцию, которая определяет затраты на электроснабжение с помощью ВГГД комплекса (1). Данная целевая функция равна сумме капитальных затрат на приобретение и содержание ВГГД комплекса, а также стоимости потребленного топлива за весь период эксплуатации комплекса. Переменные снабжены индексами,

причем первый индекс обозначает тип источника энергии (w – ветер, h – вода, s – Солнце, d – дизель-генератор). Данная функция зависит от шести независимых переменных, которые определяют мощность и число установок, формирующих ВГГД комплекс. Здесь $P_{w,nom}$, $P_{s,nom}$, $P_{h,nom}$, обозначают номинальные мощности установок, n_h , n_s , n_w , – число установок данного типа. W_N обозначает годовое потребление электроэнергии, T_c – срок эксплуатации комплекса, C_d – стоимость дизельного топлива, $\hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom})$ – средний удельный расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии. Функции $\sigma_X(P_{X,nom})$, $X = \{h, s, w\}$ задают стоимость выработки кВт·ч электроэнергии на установке заданного типа и являются определяющими функциями рассматриваемой модели. Они связаны с ценовой характеристикой 1), которая может быть получена путем статистического анализа массива данных по генерирующим установкам. Константы w_X , $X = \{h, s, w\}$ равны количеству электроэнергии, вырабатываемому за год генератором определенного типа и определяются доступными ВИЭ. Последнее слагаемое $k_d C_d(P_{d,nom})$ является константой, равной стоимости и расходам на содержание ДЭС.

$$C(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, n_h, n_s, n_w) =$$

$$n_w P_{w,nom} w_w T_c [\sigma_w(P_{w,nom}) - c_d \hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom})] +$$

$$n_h P_{h,nom} w_h T_c [\sigma_h(P_{h,nom}) - c_d \hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom})] +$$

$$n_s P_{s,nom} w_s T_c [\sigma_s(P_{s,nom}) - c_d \hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom})] +$$

$$W_N T_c c_d \hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom}) + k_d C_d(P_{d,nom}) \quad (1)$$

Следует отметить, что средний удельный расход топлива, $\hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom})$, сложным образом зависит от номинальных мощностей установок комплекса и потенциала ВИЭ. В данной модели используется следующий способ оценки среднего удельного расхода. Для оценки удельного расхода топлива на выработку 1 кВт·ч, $\lambda_d(P_d = P_{нагрузка})$, можно воспользоваться следующей формулой, приведенной в [1],

$$\lambda_d = 436,93 P_{d,nom}^{-0,1} \left(1 + K_{xx} \left(\frac{P_{d,nom}}{P_d} - 1 \right) \right), [\text{гр/кВт}\cdot\text{ч}]$$

Поскольку мы подбираем комплекс таким образом, что при необходимости ДЭС способна полностью обеспечить потребителя электричеством, а снижение стоимости кВт·ч осуществляется за счет экономии топлива благодаря энергии, вырабатываемой ВИЭ, то средняя мощность нагрузки на ДЭС равна

$$\hat{P}_d = \frac{(W_N - n_w P_{w,nom} w_w - n_s P_{s,nom} w_s - n_h P_{h,nom} w_h)}{8640}$$

Поэтому, окончательно получим

$$\hat{\lambda}_d(P_{w,nom}, P_{s,nom}, P_{h,nom}, P_{d,nom}) =$$

$$= 436,93 P_{d,nom}^{-0,1} \left(1 + K_{xx} \left(\frac{P_{d,nom}}{\hat{P}_d} - 1 \right) \right)$$

Таким образом, построена математическая модель (1), которая позволяет, используя стандартные методы решения нелинейной задачи оптимизации находить оптимальные значения установочных мощностей ВГГД-комплекса. Для того, чтобы записать функцию (1) в явном виде, нужно конкретизировать ценовые характеристики $\sigma_X(P_{X,nom})$, $X = \{h, s, w\}$ и параметры ВИЭ w_X , $X = \{h, s, w\}$. Пример ценовой характеристики ВЭС, полученной для 22 установок в диапазоне мощности от 100Вт до 10 кВт приведен на рисунке 1. Аналогично могут быть получены характеристики других компонент комплекса.

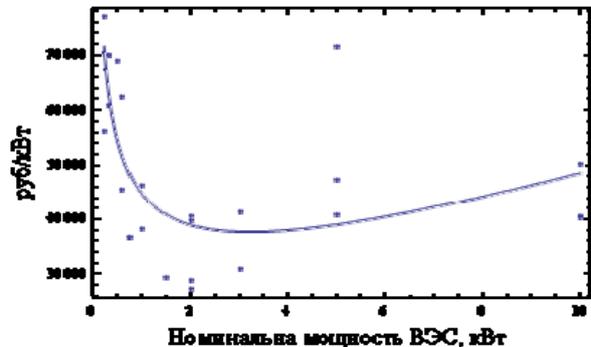


Рис.1. Ценовые характеристики ВЭС в диапазоне номинальных мощностей от 100 Вт до 10 кВт

Предложенная модель находится в стадии реализации в виде программного комплекса, связанного с базой данных. Динамически обновляемая база данных установок позволит уточнять функции, входящие в целевую функцию и таким образом улучшать предсказательную силу модели.

Список литературы:

1. Сурков М. А. Анализ расхода топлива дизельной электростанции при постоянных оборотах генератора. Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: материалы Всероссийской научно-технической конференции / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 351с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ГИДРОАГРЕГАТАМИ С РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫМИ ТУРБИНАМИ

Твердохлебов Н.Н.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент
Новосибирский Государственный Технический университет, 630092,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Е-mail: tnn.nsk@bk.ru

Для управления распределением активной мощности между гидроагрегатами на гидравлических электрических станциях широко используются групповые регуляторы частоты и активной мощности (ГРАМ). При использовании на станции радиально-осевых турбин должно учитываться, то обстоятельство, что их эксплуатационные характеристики содержат зону 2 (рисунок 1), в которой эксплуатация не рекомендуется. Кроме того, имеется зона 4, эксплуатация в которой не допускается. При распределении между гидроагрегатами задания по активной мощности станции наличие этих зон должно учитываться в обязательном порядке. При этом следует иметь в виду, что в соответствии с [1] изменение состава гидроагрегатов, находящихся в работе, а также переходы между зонами разрешённой работы 1 и 3 допускаются только под управлением оперативного персонала. По этим причинам возникла необходимость разработки стратегии группового регулирования активной мощности на гидроэлектростанции с радиально-осевыми турбинами.

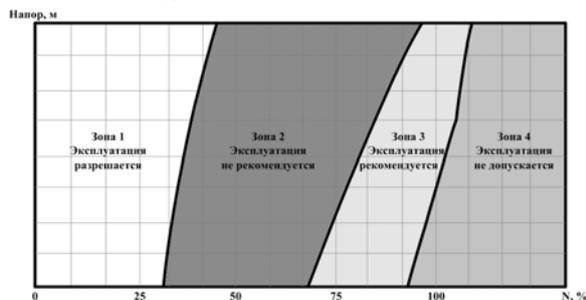


Рисунок 1 - Характерные зоны работы гидроагрегатов с турбинами РО типа [1].

При разработке стратегии сформулированы следующие требования и допущения.

Находящиеся в работе гидроагрегаты (ГА) разделяются на две группы. ГА первой группы несут нагрузку, работая в зоне 3. ГА второй группы несут нагрузку, работая в зоне 1. Длительность работы ГА в зоне 2 должна быть минимальной и допускается только в течение переходов между зонами 1 и 3. Число таких переходов должно быть минимизировано, а выполняться они должны с максимально возможной скоростью.

При использовании на станции однотипных гидроагрегатов, имеющих близкие эксплуатационные характеристики, распределение нагрузки внутри каждой группы принимается равномерным.

Распределение нагрузки между группами ГА осуществляется по условию минимального суммарного расхода воды.

Состав групп задаётся диспетчером, то есть включение или отключение ГА, а также переходы через зону 2 осуществляются только по его команде.

ГРАМ должен выполнять функции "советчика", то есть указывать оперативному персоналу на необходимость изменения состава групп работающих ГА, но окончательное решение принимает диспетчер.

Определение состава групп и принятие решения о его изменении является сложной задачей, при решении которой диспетчер должен учесть ряд факторов: значение нераспределённой мощности, количество гидроагрегатов, изменяющих режим работы, характер изменения режима работы, а также возможные индивидуальные ограничения.

Для оказания помощи оперативному персоналу предлагается использовать специальную программу "Советчик", алгоритм которой позволяет осуществлять сбор необходимых данных о состоянии объекта и расчёт параметров, необходимых для принятия решения.

Прежде всего "Советчик" обеспечивает дежурный персонал статистической информацией о количестве пусков – остановов гидроагрегата за определённый период времени, а также о числе выполненных переходов через зону 2. Учёт таких переходов крайне необходим, поскольку при их выполнении турбина подвержена повышенному износу. При работе турбины в этой зоне наблюдается нарушение ламинарности потока воды, что вызывает повышенную вибрацию, резкое усиление кавитационных явлений, а также увеличение шума в проточной части турбины. Уровень возникающих при этом динамических нагрузок недопустим не только при длительной работе, но и даже крат-

современная работа в этой зоне вызывает значительный износ гидросилового оборудования. По этой причине такие "стрессовые" переходы следует распределять между гидроагрегатами станции равномерно, но, в то же время, учитывая техническое состояние каждой отдельной машины. Именно для этой цели в алгоритме реализована функция учёта количества переходов ГА через зону 2. Следует отметить, что промежуток времени, на котором ведётся статистика переходов может быть выбран любой, например, неделя, месяц, квартал, год...

Вторая задача, которую решает "Советчик" – это определение значения нераспределённой мощности и определение числа гидроагрегатов, режим работы которых должен быть изменён. На первый взгляд очень простая арифметическая задача.

Однако такой простой подход не совсем правильный. Например, если зона 2 для турбин, установленных на станции, шире зоны 3, как показано на рисунке 1, а число работающих агрегатов мало, то есть вероятность возникновения ситуации, при которой распределение заданной мощности между работающими агрегатами не представляется возможным.. Выход из такого положения состоит в изменении числа работающих гидроагрегатов.

Дополнительные сложности определения количества агрегатов возникают, когда какой-либо из гидроагрегатов имеет индивидуальные ограничения. В качестве примера можно рассмотреть случай, когда гидроагрегат, имеющий ограничение в зоне 3, несёт нагрузку в зоне 1, а количество работающих машин мало. В этом случае переводимый в зону 3 гидроагрегат не сможет принять на себя необходимую нагрузку, что потребует перевода дополнительного агрегата в том же направлении.

Для того чтобы "Советчик" мог корректно определять номера агрегатов, чей переход в другую группу наиболее благоприятен, необходимо обеспечить возможность задания приоритетов, в соответствии с которыми "Советчик" мог бы рекомен-

довать гидроагрегаты, режим которых целесообразно изменить. Задание приоритетов выполняется оперативным персоналом присвоением номеров от 1 до количества гидроагрегатов на станции. При этом меньший номер соответствует более высокой вероятности перехода через зону 2. Количество выполненных гидроагрегатом переходов через зону 2, а также наличие индивидуальных ограничений учитывается соответствующими весовыми коэффициентами, корректирующими значение приоритета. На основе скорректированных значений приоритетов формируется список гидроагрегатов, в котором порядковый номер соответствует приоритету перехода через зону 2.

Результат работы "Советчика" выдаётся только после того как будет найдено удачное распределение мощности путём перебора всех возможных вариантов и определения нескольких наиболее целесообразных вариантов. Полученные варианты ранжируются по количеству необходимых переходов через зону 2. Результат поиска выводится на экран дисплея для оперативного персонала. В том случае, если при текущем составе работающего оборудования заданная мощность не может быть распределена, выводится соответствующее сообщение.

Таким образом, разработанный алгоритм "Советчик", учитывая ряд влияющих факторов, в значительной мере упрощает задачу оператора гидроэлектростанции, связанную с определением количества и номеров агрегатов, режим которых следует изменить в случае необходимости перехода через зону 2.

Использованная литература:

1. Википедия. свободная сетевая библиотека [Электронный ресурс] Электронный текст дан. Акт технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года. Режим доступа: <http://ru.wikisource.org> свободный. Загл. с экрана, (дата обращения 22.02.2010).

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА К ИССЛЕДОВАНИЯМ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Токарев И.С.

Научный руководитель: Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tokarevisgtt@sibmail.com

В настоящее время для анализа статической устойчивости (устойчивости «в малом») электроэнергетических систем (ЭЭС) используется корневой анализ, а также алгебраические и частотные критерии устойчивости. Для решения задач синтеза систем автоматического управления ЭЭС наибольшее распространение получил метод D-разбиения. Эти критерии и метод D-разбиения требуют обязательной линеаризации исходной системы дифференциальных уравнений и построения, в той или иной форме, характеристического уравнения этой системы.

К наиболее сложным задачам, для решения которых требуется проведение расчетов устойчивости «в малом» при эксплуатации объектов ЭЭС, относится задача настройки их систем автоматического регулирования. Сложность обусловлена тем, что для решения этой задачи требуется использовать наиболее полное математическое описание силовых и управляющих элементов энергосистемы. В результате требуется рассматривать системы нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений очень высокого порядка.

Очевидно, что разработка методов анализа устойчивости «в малом» ЭЭС, не требующих процедуры линеаризации исходных уравнений и построения характеристического уравнения, позволила бы значительно упростить вычислительные процедуры. Наиболее подходящим для этой цели представляется частотный критерий Найквиста, получивший широкое распространение при анализе систем автоматического управления и электроники. В электроэнергетике критерий Найквиста не применяется и его потенциальные возможности для разработки эффективных методов исследования устойчивости «в малом» не определены. В этом направлении первоначально предстоит решить две важные задачи: во-первых, необходимо оценить в целом применимость этого метода и, во-вторых, разработать способы его использования без предварительной линеаризации системы исходных уравнений.

На данном этапе эта задача решается традиционным образом, т.е. на основе линеаризации систем исходных уравнений. При этом производится сравнительная оценка результатов, получаемых с помощью критерия Найквиста и критерия Михайлова.

Передаточную функцию замкнутой системы можно получить путем задания внешнего по отношению к ЭЭС возмущения и определения реакции на это возмущение в виде отклонения какого-либо внутреннего параметра режима. Наиболее

наглядными, но не обязательными, параметрами представляются: возмущение в виде малого приращения активной мощности (мощности турбины) какого-либо генератора и реакция ЭЭС на это возмущение в виде отклонения угла вылета ротора этого генератора. Отношение входного параметра (возмущения) к выходному параметру (реакции ЭЭС), выраженных в операторной форме, является передаточной функцией замкнутой системы, которая может быть представлена в виде системы с единичной обратной связью. Переход к разомкнутой системе в этом случае осуществляется по известному выражению:

$$W_p(p) = \frac{W_3(p)}{1 - W_3(p)}, \quad (1)$$

где $W_3(p)$ и $W_p(p)$ передаточные функции соответственно замкнутой и разомкнутой систем.

В случае устойчивости разомкнутой системы критерий Найквиста формулируется так: для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) устойчивой разомкнутой системы не охватывала точку $(-1, j0)$ [3].

Для примера рассмотрим одномашинную модель энергосистемы (рис.1), синхронный генератор которой оборудован автоматическим регулятором возбуждения сильного действия (АРВ СД). Математическое описание элементов этой системы представлено упрощенными уравнениями, приемлемыми для рассмотрения задач расчета статической устойчивости.

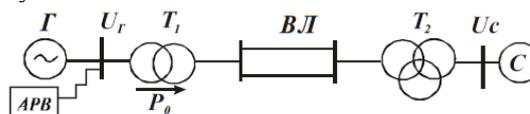


Рис.1. Схема одномашинной энергосистемы
Исходные уравнения переходных процессов одномашинной энергосистемы с АРВ СД в обозначениях [2] имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{T_j}{\omega_c} p^2 \delta &= P_T - P; \\ E_q &= E_{qe} + E_{qcs}; \\ E_{qcs} &= -T_{d0} p E_q'; \\ E_{qe} &= E_{qe0} + \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} * \\ &* \sum_j \left[K_{0Rj} + \frac{pK_{1Rj}}{pT_q + 1} + \frac{p^2 K_{2Rj}}{pT_q + 1} \right] * (R_j - R_{0j}). \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения (2) составляют незамкнутую (количество неизвестных больше количества уравнений) дифференциально-алгебраическую систему уравнений. Недостающее уравнение будет далее введено в виде связи между линейными приращениями параметров режима.

В результате линеаризации уравнений (2) получаем линейную систему вида

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T_j}{\omega_c} p^2 \Delta \delta = -\Delta P; \\ E_q = \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} * \\ * [(K_{0U} + pK_{1U})(-\Delta U_r) + \\ + (K_{0f} + pK_{1f})\Delta f] - T_{d0} p \Delta E_q'; \\ \Delta P = \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q; \\ \Delta E_q' = \frac{\partial E_q'}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial E_q'}{\partial E_q} \Delta E_q; \\ \Delta U_r = \frac{\partial U_r}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial U_r}{\partial E_q} \Delta E_q. \end{array} \right. \quad (3)$$

при этом

$$\Delta f = p \Delta \delta. \quad (4)$$

Для получения характеристического уравнения системы линеаризованных уравнений (3,4) исключим переменные ΔP , $\Delta E_q'$, ΔU_r , Δf . После несложных преобразований получим систему двух линеаризованных уравнений в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}(p)\Delta \delta + a_{12}(p)\Delta E_q = 0; \\ a_{21}(p)\Delta \delta + a_{22}(p)\Delta E_q = 0, \end{array} \right. \quad (5)$$

Главный определитель $D_\Delta(p)$ системы линеаризованных уравнений (5) является характеристическим определителем. Приравнение этого определителя к нулю дает характеристическое уравнение.

Для построения передаточной функции замкнутой и разомкнутой систем зададим внешнее возмущение в виде приращения активной мощности ΔP генератора в правой части первого уравнения системы (5). В результате получим

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}(p)\Delta \delta + a_{12}(p)\Delta E_q = \Delta P; \\ a_{21}(p)\Delta \delta + a_{22}(p)\Delta E_q = 0. \end{array} \right. \quad (6)$$

Приняв отклонение угла в качестве выходного параметра $\Delta \delta$, в результате решения системы (6) получим уравнение

$$\Delta \delta = W_3(p)\Delta P \quad (7)$$

где

$$W_3(p) = \frac{D_{\Delta 1}(p)}{D_\Delta(p)} \quad - \text{ передаточная функция}$$

замкнутой системы;

В результате подстановки $p = j\omega$ получаем характеристический вектор $D_\Delta(j\omega)$ построения годографа Михайлова и комплексный коэффициент усиления $W_3(j\omega)$ построения АФЧХ разомкнутой системы.

Кривые, построенные по этим выражениям для устойчивого и неустойчивого состояний ЭЭС, представлены на рисунке 2.

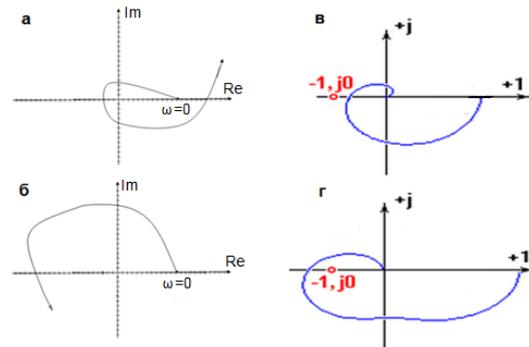


Рис.2. а) годограф Михайлова (система устойчива); б) годограф Михайлова (система неустойчива); в) АФЧХ устойчивой системы (по критерию Найквиста); г) АФЧХ неустойчивой системы (по критерию Найквиста).

Результаты построения показывают, что критерии Михайлова и Найквиста идентично указывают на устойчивое и неустойчивое состояния ЭЭС. Поэтому можно утверждать, что критерий Найквиста, применяемый к режимным частотным характеристикам, может быть использован для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС.

Это позволяет эффективно использовать множество известных технологий применения критерия Найквиста для эффективного решения задач анализа и синтеза устройств автоматического регулирования ЭЭС.

Список литературы:

1. Хрущев Ю.В., Методы расчета устойчивости энергосистем. Учебное пособие. – Томск: СГТУ? 2005. – 176 с.
2. Веников В.А., Зуев Э.Н., Литкенс И.В., Электрические системы. Математические задачи энергетики. Изд. 2-е. – М.: Высшая школа, 1981. – 288 с.
3. Чемоданов Б.К., Математические основы теории автоматического регулирования. Учебное пособие. – М., Высшая школа, 1971. – 808с.

ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РАЙОНА

Фадеев В.А.

Научный руководитель: Шакиров В.А., к.т.н., доцент
Братский государственный университет, Россия, 665709, г. Братск, ул. Макаренко 40
E-mail: wodwore@gmail.com

Электроэнергетика - базовая отрасль экономики России, обеспечивающая потребности экономики и населения страны в электрической и тепловой энергии, во многом определяющая устойчивое развитие всех отраслей экономики страны [1].

Для комплексного развития энергетики страны в 2009 году была принята энергетическая стратегия развития России до 2030 года.

Реализация энергетической стратегии, в числе прочего, обеспечит возможность освоения богатейших природных ресурсов Северо-Восточной части страны.

При реализации каждого конкретного проекта остро встает проблема выбора оптимального варианта развития энергетики района. Данная проблема представляет собой трудоемкую задачу, при решении которой необходимо учитывать множество факторов [2].

Предпочтительность одного варианта по отношению к другому зависит от множества факторов. Однако каждый из них может служить частью более общих. Выделяют пять следующих главных групп факторов, на рассмотрении которых базируется вся проблема выбора варианта развития энергетики района [2]:

- факторов окружающей среды;
- экономических факторов;
- социально-экономических факторов;
- факторов здоровья и безопасности населения;
- факторов общественного мнения.

С учетом пяти главных групп факторов часто невозможно выбрать вариант, в максимальной степени соответствующий каждому из них. В связи с этим возникает трудность обоснования выбора конкретного варианта. Кроме того, существуют факторы, затрудняющие определение ценности варианта и потому усложняющие решение проблемы развития энергетики района [2]:

- многочисленность целей;
- оценка степени воздействия;
- неопределенность в оценке воздействий;
- система ценностных соотношений;
- проблема пристрастности оценок.

Из рассмотренных выше факторов видно, что задача выбора варианта энергоснабжения представляет собой уникальную задачу для каждого конкретного района.

Заранее сформулированные альтернативы в такого рода ситуациях отсутствуют, они возникают в процессе анализа системы [3].

Эти обстоятельства не позволяют при принятии решений в таких системах эффективно использо-

вать подходы имитационного моделирования, ориентированные на использование количественных объективных оценок [3], методы традиционной теории принятия решений, реализующие выбор лучшей альтернативы из множества четко сформулированных альтернатив [4], а также методы сценарного анализа [5].

Формализовать эту проблему возможно в виде системы, состоящей из множества разнородных взаимодействующих факторов.

Подход к анализу таких систем основан на понятии когнитивной карты и часто называется когнитивным моделированием (Рис.1).

В анализе слабоструктурированных систем когнитивные карты представляют собой разновидность математических моделей для формализации проблемы, сложной системы в виде множества факторов, отображающих её системные переменные, и выявления причинно-следственных отношений между ними с учетом воздействия на эти факторы или изменения характера отношений.

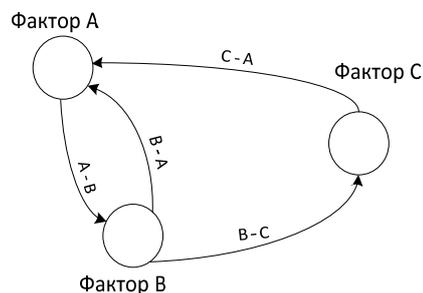


Рис. 1. Пример когнитивной карты

Эффективность использования когнитивных карт в качестве моделей слабоструктурированных проблем и сложных систем обусловлена [6]:

- возможностью наглядного представления анализируемой проблемы или системы;
- отсутствием необходимости предварительной спецификации факторов и отношений влияния;
- конструктивностью, наглядностью и относительно легкой интерпретации с их помощью причинно-следственных связей между факторами;
- интегрированностью с методами оценок результатов анализа.

Исторически первой когнитивной моделью был знаковый граф. Вершинами знакового графа являются факторы, а ребрами – влияния (связи) факторов.

Знаковый граф это граф, ребра которого имеют веса +1 или -1, сокращенно обозначаемые знаками «+» и «-». Знак «+» обозначает положительное влияние (рост фактора-причины приводит к росту

фактора-следствия), знак « \rightarrow » обозначает отрицательное влияние (рост фактора-причины приводит к уменьшению фактора-следствия) [3].

Подробно основные свойства знаковых графов описаны в [7].

Очевидно, что знаковый граф позволяет оценить влияние факторов качественно, но не количественно.

Устранением этого недостатка является назначение весов, характеризующих силу влияния факторов. Такие графы получили название взвешенных орграфов [6].

Взвешенные орграфы используются для анализа хорошо структурированных систем с количественными параметрами, используются числовые веса и линейные зависимости между влияниями: величины влияний по различным путям между двумя вершинами суммируются [3].

Как было сказано выше, выбор варианта развития энергетики района является слабоструктурированной проблемой, поэтому использование для формализации взвешенного орграфа представляется малоэффективным.

Проблема выбора варианта энергоснабжения имеет ряд особенностей, например, сила связей различных факторов и сами факторы будут меняться (например, усиление негативного влияния объектов энергетики на экологическую обстановку района с течением времени), поэтому имеет смысл рассматривать эту проблему в динамике.

Кроме того, установить влияние между некоторыми факторами возможно только, используя мнение эксперта (группы экспертов). Экспертное мнение о связи факторов в некоторых случаях возможно выразить только при помощи лингвистических переменных (значения которых являются слова, например: «сильно», «средне», «слабо»).

В некоторых случаях, эксперту сложно дать однозначное заключение о состоянии фактора, или о силе связи, более подходящим будет задание их неким диапазоном ([100-200]-«сильное влияние»).

Для формализации данной проблемы, максимально учитывая её особенности, наиболее подходят нечеткие когнитивные карты (НКК).

НКК это когнитивные карты, в которых используются постулаты теории нечетких множеств [8].

В НКК факторы представлены в виде нечетких множеств, определяемых функциями принадлежности к базовому множеству.

Причинно-следственные отношения между двумя факторами могут быть выражены в виде нечетких отношений влияния (нечеткие реляционные когнитивные карты) [8], либо в виде нечетко-

го производного правила (НКК, основанные на правилах) [9].

Передача влияния между факторами может осуществляться на основе нечеткой композиции (реляционные НКК) или на основе способа нечеткого вывода Мамдани, Сугено (НКК, основанные на правилах).

Подводя итог, можно заключить, что проблема выбора оптимального варианта энергоснабжения района является трудоемкой задачей, которая может быть представлена сложной слабоструктурированной системой, структура которой во многом зависит от субъективного мнения эксперта.

Для данной системы важной частью является рассмотрение её свойств в динамике.

Данная система может быть адекватно формализована при помощи когнитивных карт, основанных на нечеткой логике.

Литература:

1. Генеральная схема размещения объектов энергетики до 2020 года, одобрена распоряжением правительства РФ от 22 февраля 2008 г. № 215-р
- 2/лини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений. Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат, 1983.-320с
3. Кузнецов, О.П. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт /О.П. Кузнецов, А.А. Кулинич, А.В. Марковский // Человеческий фактор в управлении / Под ред. П.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова.- М.: КомКнига, 2006. - С. 313-344.
4. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979.
5. Кульба В. В., Кононов Д. А., Косяченко С.А., Шубин А. Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М.: Синтег, 2004.
6. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007.– 284с.: ил.
7. Робертс Ф. С., Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. Пер. с англ. М.: Наука, 1986.
8. Федулов А.С. Нечеткие реляционные когнитивные карты // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2005. №1. С. 120-133.
9. Carvalho J.P., Tome J.A. Rule-based fuzzy cognitive maps- a comparative study// In Proc. of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. NAFIPS'99, New York, 1999. P. 280-283.

МОДЕРНИЗАЦИЯ САЯНСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ФИЛИАЛА ОАО МРСК СИБИРИ – «ХАКАСЭНЕРГО» В СВЯЗИ С ВВОДОМ ГАЗОТУРБИННОЙ СТАНЦИИ НА БАЗЕ НОВОМИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Феденёв Н.Н.

Научный руководитель: Толстихина Л.В., к.т.н., доцент

Саяно-Шушенский филиал СФУ, 655619, Россия, РХ, г. Саяногорск, пгт. Черёмушки, д. 15

E-mail: flaek@mail.ru

Крупный инвестиционный проект «Освоение ресурсов природного газа Новомихайловского лицензионного участка на территории республики Хакасия» будет реализован к 2016 году. В данный момент идут работы по его запуску, подготовлена вся соответствующая документация, пройдены экспертизы. Сейчас решается вопрос, который касается инвестиций [1].

Месторождение углеводородного сырья было обнаружено в 1959 году на территории Алтайского района Хакасии Минусинской экспедицией нефтегазоразведки. Тогда в водоразделе рек Абакан и Енисей пробурили восемь скважин глубиной от 1893 до 2851 метра. В семи скважинах были «зарегистрированы нефтегазопроявления различной интенсивности». Нефть Новомихайловского месторождения уникальна и по своим характеристикам относится к редко встречающейся в природе. То же относится и к газу. Но в связи с промышленной добычей нефти и газа в Западной Сибири все работы были прекращены, скважины законсервированы. В 2006 году Новомихайловское месторождение было выставлено на аукцион на право пользования недрами с целью изучения, разведки и добычи углеводородного сырья, согласно перечня участков недр, утвержденного Федеральным агентством по недропользованию Российской Федерации. Победителем было признано ООО "Прогресс-С" (г. Томск).

Новомихайловская площадь является наиболее перспективным газоносным объектом на территории республики Хакасия. Основными направлениями по использованию природного газа могут быть выработка электроэнергии на газотурбинных установках, газификация города Саяногорска и близлежащих населенных пунктов, а также поставка продуктов газопереработки на рынок республики Хакасия.

Так как проект относится к энергетической отрасли, то он имеет большое значение для развития электроэнергетики Хакасии.

Особенно эффективно и с наименьшим выделением вредных выбросов природный газ можно использовать для [выработки электроэнергии и тепла для отопления](#).

Газ экономически эффективнее других видов топлива и альтернативных источников энергии.

Строительство тепловых электростанций, работающих на природном газе, требует относительно малых инвестиций – в сравнении с электростанциями, работающих на других видах топлива, таких, как уголь, уран, водород.

Электрический КПД современной [газовой электростанции](#) достигает 55–60%, а угольной — всего 32–34%. При этом капитальные затраты на 1 МВт/час установленной мощности газовой ТЭЦ составляют всего 50% от угольной, 20% от атомной, 15% от ветровой электростанции.

В данной работе рассматривается модернизация Саянских электрических сетей филиала ОАО МРСК Сибири – «Хакасэнерго» в связи с введением в строй газотурбинной ТЭС Новомихайловская. Участок подстанция (ПС) 110 кВ «Абакан-районная» – ПС 220 кВ «Означенное-районная» Саянских электрических сетей на котором вводится газотурбинная ТЭС Новомихайловская показан на рисунке 1.

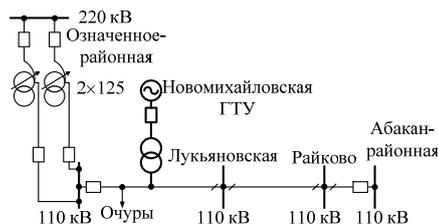


Рис. 1. Участок ПС 110 кВ «Абакан-районная» – ПС 220 кВ «Означенное-районная» Саянских электрических сетей

На Новомихайловском участке планируется строительство газотурбинного энергокомплекса в два этапа:

1. Введение первой очереди энергокомплекса мощностью 50 МВт с осуществлением врезки ПС 110 кВ «Новомихайловская» в распределительные электросети между ПС 110 кВ «Лукьяновская» и отпайкой на ПС 110 кВ «Очурь»;

2. Введение второй очереди энергокомплекса мощностью 250 МВт с переводом участка ПС 110 кВ «Райково» – ПС 110 кВ «Означенное-районная» на напряжение 220 кВ.

При расчете установившихся и аварийных режимов были использованы программные комплексы RastrWin и RastrKZ.

На рисунке 2 представлен участок из схемы, которая была использована для расчета установившихся и аварийных режимов до введения в строй энергокомплекса.

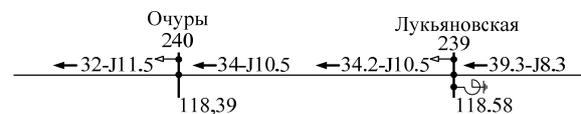


Рис. 2. Участок из схемы для расчета установившихся и аварийных режимов до введения в строй энергокомплекса

На рисунке 3 представлен участок из схемы, которая была использована для расчета установившихся и аварийных режимов после введения в строй энергокомплекса.

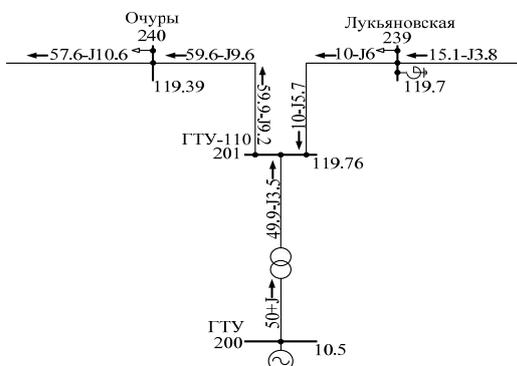


Рис. 3. Участок из схемы для расчета установившихся и аварийных режимов после введения в строй энергокомплекса

Из анализа расчетов установившихся и аварийных режимов до введения в строй первой очереди Новомихайловской газотурбинной ТЭС и после ее введения были сделаны следующие выводы [2]:

1. На линии ПС 110 кВ «Абакан-районная» – ПС 110 кВ «Райково» – ПС 110 кВ «Лукьяновская» уменьшился переток мощности и соответственно ток в линии;

2. На линии ПС 110 кВ «Означенное-районная» – «Очуры» – ПС 110 кВ «ГТУ» переток мощности возрос. Также возрос в 1,72 ток в линии, который не превышает допустимого длительного тока для данной воздушной линии, выполненной проводом АС-185;

3. На всех остальных линиях произошли незначительные изменения перетоков мощности и токов в линиях, которые не превышают допустимых длительных токов для данных воздушных линий;

4. Токи короткого замыкания увеличились на ПС 110 кВ «Райково», «Лукьяновская», «Очуры», «Означенное-районная», но они не превышают нормированных значений токов коротких замыканий для установленных на этих подстанциях электрических аппаратов.

После анализа проведенных на первом этапе расчетов сделан вывод о том, что на данном этапе строительства газотурбинного энергокомплекса не требуется замена установленных электрических аппаратов и увеличение сечения воздушных линий.

Наиболее нагруженным участком, после введения второй очереди Новомихайловской ТЭС и

расчета установившихся и аварийных режимов, является участок между ПС 220 кВ «Означенное-районная» и ПС 110 кВ «Райково».

Из анализа расчетов установившихся и аварийных режимов после введения в строй второй очереди Новомихайловской газотурбинной ТЭС делаем выводы:

1. На линии ПС 110 кВ «Абакан-районная» – ПС 110 кВ «Райково» в 1,77 увеличился переток мощности и в 1,84 увеличился ток в линии;

2. На линии ПС 110 кВ «Означенное-районная» – «Очуры» – ПС 110 кВ «ГТУ» переток мощности возрос в 4,94. Также возрос в 4,6 ток в линии, который превышает допустимый длительный ток для данной воздушной линии в 1,5, выполненной проводом АС-185;

3. На линии ПС 110 кВ «ГТУ» – «Лукьяновская» – ПС 110 кВ «Райково» переток мощности возрос в 2,05. Также возрос в 2,05 ток в линии, который не превышает допустимого длительного тока для данной воздушной линии, выполненной проводом АС-185;

4. На участке ПС 220 кВ «Означенное-районная» – «Означенное-районная 1,2АТ» переток мощности возрос в 18,33. Также возрос в 5,1 ток в линии, значение которого очень близко к значению допустимого длительного тока для данной воздушной линии;

5. На всех остальных линиях произошли незначительные изменения перетоков мощности и токов в линиях, которые не превышают допустимых длительных токов для данных воздушных линий;

6. Токи короткого замыкания значительно увеличились на ПС 110 кВ «Райково», «Лукьяновская», «отп. Очуры», «Означенное-районная», но проверка на электродинамическую и термическую устойчивость показала, что установленные на этих подстанциях аппараты выдерживают получившиеся токи короткого замыкания.

На основании анализа результатов расчета делаем вывод о том, что после ввода второй очереди газотурбинной ТЭС необходимо переводить участок между ПС 110 кВ «Райково» и ПС 110 кВ «Означенное-Районная» на напряжение 220 кВ.

Список использованных источников:

1. Программа развития электроэнергетики Республики Хакасия на период 2011-2016 годы и на перспективу до 2020 года (электронный ресурс) – 2011. – Режим доступа: <http://www.r-19.ru>.

2. Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3. т. Самара: СамГТУ, 2011. Т. 3. 331 с., 12-16 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ СВЕТОВОДНЫХ СИСТЕМ

Филимонова Ю. В., Коржнева Т. Г.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: FilimonovaYV@yandex.ru

Вся биосфера Земли и человек, в том числе, своей жизнью обязаны Солнцу. Жизнь на Земле немыслима без солнечного света.

Жизненный цикл большинства растений, животных, человека привязан к солнечному свету. Но человек по мере развития технологического света забывает об этом. Все больше времени мы проводим под искусственным освещением и все меньше под естественным – солнечным.

Традиционные вертикальные окна могут обеспечить помещение достаточным количеством естественного света, но поскольку уровень естественного освещения асимптотически уменьшается с возрастанием расстояния от окон, то непропорциональное количество света должно поступить в окно помещения для того, чтобы добиться незначительного увеличения освещения удаленной части помещения.

Альтернативой стандартным вертикальным окнам для естественного освещения помещений являются полые трубчатые световоды (ПТС). ПТС использует принцип передачи естественного света в помещение за счет многократного отражения внутри полой цилиндрической трубы и позволяют принимать естественный свет на крыше или на стенах зданий и транспортировать его с минимальными потерями в глубину здания, например, на нижние этажи, или в подвал, проводить свет через чердачное пространство, обходить коммуникации и трубопроводы, освещать естественным светом станции и туннели метро мелкого заложения.

Рассмотрим эффективность применения ПТС для Томской области на примере световодной системы марки Solatube®DS. Световод имеет самый высокий коэффициент отражения 99,7%.

Общая энергоэффективность или КПД ПТС может быть выражена как [1]:

$$\eta_g = \tau_c \cdot \tau_d \cdot K_m \cdot \xi = K_1 \cdot \xi, \quad (1)$$

где $\tau_c = 0,92$ – коэффициент пропускания купола ПТС и промежуточной линзы;

$\tau_d = 0,80$ – коэффициент пропускания диффузора;

$K_m = 0,92$ – коэффициент запаса (учитывает загрязнение купола при эксплуатации)

$$K_1 = \tau_c \cdot \tau_d \cdot K_m = 0,677$$

ξ – эффективность светопропускания ПТС

Эффективность светопропускания световода ξ может определяться по упрощенной версии мате-

матического уравнения многократных отражений [1]:

$$\xi = \frac{\frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho}{\left(1 - \frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho\right)^{1/2}}, \quad (2)$$

Здесь θ – угол входа света в ПТС, $\theta=30^\circ$ – представляет средний угол входа света при условиях пасмурного неба в Томской области.

Световой поток, излучаемый диффузором, выражается как

$$\Phi_d = \eta_g \cdot \Phi_e, \quad (3)$$

где Φ_e – световой поток входящий в ПТС:

$$\Phi_e = \frac{180^0 - \alpha^0}{180^0} \cdot E_{oe} \cdot A, \quad (4)$$

где $\frac{180^0 - \alpha^0}{180^0}$ – входной коэффициент световода, α^0 – угол отклонения оси трубы от зенита [2]; E_{oe} – горизонтальная освещенность, под открытым небом, лк. A – площадь светособирающего купола ПТС, м².

Используя формулы (1-4) определяем эффективность использования ПТС в Томской области для четырех месяцев:

Таблица 1. Расчет систем Solatube® DS

Тип световода, L = 3м.	ξ , %	η_g , %	$\Phi_{e\gamma} / \Phi_d$ клм			
			месяц			
			3	6	9	12
D=250мм	96,9	65,6	3.3/ 2.2	5.2/ 3.4	3.1/ 2.0	0.7/ 0.5
D=350мм	97,9	66,2	5.9/ 3.9	9.4/ 6.2	5.6/ 3.7	1.3/ 0.9
D=530мм	98,5	66,7	6.7/ 4.5	10.7/ 7.1	6.4/ 4.3	1.5/ 1

Данная таблица демонстрирует очевидную закономерность: с увеличением диаметра купола световода возрастает количество светового потока, поступающего в помещение. Для Томской области наиболее эффективной в применение является система Solatube® 330 DS (D=530мм).

Зависимость эффективности светопропускания ПТС системы Solatube® 330 DS от соотношения

длина/диаметр ПТС при различной отражающей способности ρ , приведена на рис.1:

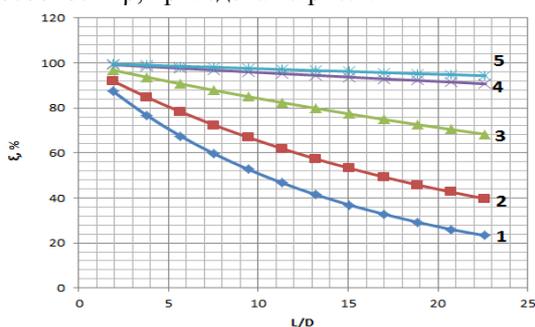


Рис. 1. Зависимость ξ света от соотношения L/D световода при различных ρ :
1 – $\rho=92\%$; 2 – $\rho=95\%$; 3 – $\rho=98\%$; 4 – $\rho=99,5\%$; 5 – $\rho=99,7\%$

Изменение коэффициента отражения всего на 1% приводит к значительным изменениям его эксплуатационных характеристик.

Уровень естественного освещения (ЕО) зависит от времени года, дня, метеословий. Поэтому в качестве нормируемого значения для естественного освещения принята относительная величина – коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Использование технических решений для целей освещения требует их технико-экономического обоснования. Приведем основные оценки эффективности использования систем Solatube®330DS для Томской области, на примере офисного помещения площадью 48 м^2 . Нормированное значение КЕО составляет 3% [3].

Используя [4] определили, что для создания нормируемого значения КЕО необходимо установить 10 ПТС.

Определим время использования верхнего ЕО (система Solatube® 330 DS) и искусственного освещения (ИО). Время работы офиса с 9 до 18, нормированная освещенность в офисном помещении равна 300 лк [3]. Таким образом, общее время эксплуатации всей системы освещения (ЕО и ИО) в помещении в течение года составит 2268 час.

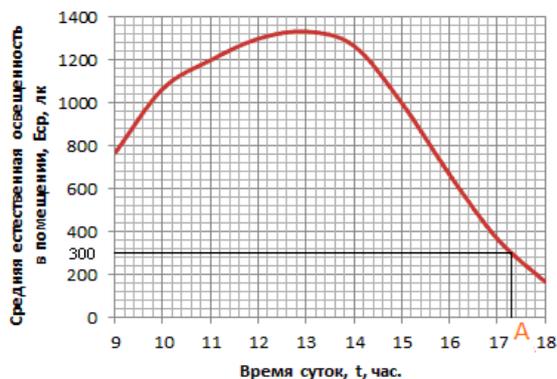


Рис. 2. График изменения естественной освещенности в помещении в течение рабочего дня при КЕО равном 3% : А – точка, соответствующая времени выключения искусственного освещения утром

Технология оценки времени использования ЕО в офисном помещении определяется по рис.2 для каждого месяца в году. Годовое использование естественного освещения при КЕО = 3 % составляет 1642,2 часов.

Оценим экономичность применения ПТС для офисного помещения. Система искусственного освещения образована восьмью светильниками ARSplus/R418. Общая мощность светильников составляет 662 Вт.

Рассчитаем срок окупаемости системы Solatube® 330 DS. Общая стоимость установки ПТС составляет 500 тыс.руб, а тариф на электроэнергию для юридических лиц в Томской области в 2011г. составляет 3,98 руб./кВт·ч. Из данных получаем, что использование системы естественного освещения снижает потребление электроэнергии на освещение в год до 652,8 час, что обеспечивает 72,4% экономии электроэнергии (ЭЭ) или 2553,7 кВт·ч./год ЭЭ.

Таким образом, срок окупаемости системы естественного освещения составит 19 лет.

Расчетный срок окупаемости приведен только из расчета экономии и рыночного тарифа на ЭЭ. В действительности, при расчетах необходимо учесть дополнительные эффекты, не поддающиеся простым расчетам. Это экологический, психологический эффекты. Учет всех положительных эффектов, несомненно, приведет к значительному сокращению срока окупаемости и позволит создавать реальные проекты сегодняшнего дня.

Список литературы:

1. Дж. Бракале. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SOLARSPOT» // Журнал «СВЕТОТЕХНИКА» 2005. №5. С. 34-42
2. <http://tomsk-meteo.ru/tomsk/pivot/solar-geometry>
3. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
4. Справочная книга по светотехнике / Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. С-74 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. – 972 с: ил.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Фролова Е.И.

Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент
Новосибирский Государственный Технический университет,
630092, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: frol73ei@list.ru

Развитие систем электроснабжения с вводом новых генерирующих источников электрической энергии и меры по ограничению уровней токов короткого замыкания (КЗ) приводят к усложнению конфигурации электроэнергетических систем (ЭЭС). Применение нового оборудования, которое имеет повышенную чувствительность к кратковременному нарушению электроснабжения, обуславливает постоянное повышение требований к быстродействию релейной защиты.

В связи с этим правильное функционирование устройств релейной защиты (УРЗ) является залогом надежной и устойчивой работы ЭЭС. Как известно, безошибочная работа релейной защиты зависит не только от аппаратной надежности, принципов построения и алгоритмов, но и от выбора уставок и характеристик срабатывания.

В статье анализируются вопросы, связанные с дистанционной защитой линии (ДЗ), которая очень широко распространена и принцип действия которой заключается в определении полного сопротивления цепи КЗ от места установки защиты по измеряемым величинам тока и напряжения.

В настоящее время происходит массовый переход защит на дистанционном принципе с электро-механической базы на микропроцессорную, что обусловлено возможностью использования более совершенных методов и средств обработки информации, а также более совершенных технических средств измерения. Этот переход, не затронув фундаментальные принципы работы УРЗ, позволил значительно повысить точность и селективность действия устройств [1].

Однако на практике высокие качества защиты остаются недоиспользованными, так как традиционные методики расчета уставок срабатывания не учитывают всю специфику интеллектуальных терминалов [2]. В большинстве методических указаний и в нормативной литературе рассматриваются только характерные (типовые) участки энергосистемы, для которых определяются условия выбора параметров срабатывания ДЗ. В настоящее время в связи с развитием кабельных сетей возникла необходимость выбора параметров срабатывания ДЗ для кабельно-воздушных линий (КВЛ).

Рассмотрим пример выбора параметров срабатывания ДЗ для реактированной КВЛ с двухсторонним питанием (рисунок 1).

При определении уставок необходимо учесть, что жилы кабеля, которыми выполнены участки КВЛ, не допускают по предельно-допустимой температуре время срабатывания резервной защи-

ты (второй ступени ДЗ) более 0,613 секунд (для кабеля на участке линии Л-3).

Первичные сопротивления срабатывания ступеней ДЗ, обеспечивающих ближнее резервирование, определяются по условиям отстройки от КЗ в конце защищаемого участка или в конце первой зоны следующего участка, а резервных ступеней - по условию обеспечения требуемого коэффициента чувствительности в конце смежного участка для всех возможных режимов работы первичной сети.

Наиболее сложен выбор параметров срабатывания второй ступени ДЗ.

Рассмотрим определение параметров срабатывания защиты 3. Первичное сопротивление срабатывания второй ступени ДЗ линии Л-3 при данной конфигурации сети определяется из условия согласования с первой ступенью защиты 4 линии Л-4, а выдержка времени (ВВ) принимается равной на ступень селективности больше ВВ быстродействующей защиты следующего участка с учетом времени действия устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ) [3]. В данном случае ВВ второй ступени составляет 0,8 секунд. В связи с этим для выполнения требований по обеспечению термической стойкости кабеля желательно чтобы все повреждения на рассматриваемой линии отключались без ВВ. Этого можно достичь путем использования возможности телеускорения защиты передачей по высококачественным каналам связи сигнала высокочастотного телеотключения (ВЧТО). Таким образом, ступенчатая защита с относительной селективностью на линии Л-2 при использовании каналов связи для обмена логической информацией о действии измерительных органов, установленных по концам защищаемого элемента, превращается в быстродействующую защиту с абсолютной селективностью с косвенным сравнением сигналов по концам защищаемого объекта [4]. В данном случае быстродействие ступенчатой защиты реализуется с помощью передачи разрешающего сигнала от ступени с неполным охватом защищаемой зоны путем ускорения второй ступени ДЗ противоположного конца.

Теперь выполним расчет уставок срабатывания защиты 1.

Сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 определяется из условия согласования с первой ступенью защиты 2 линии Л-2. Результаты расчета параметров срабатывания второй ступени защиты 1 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сопротивление срабатывания $Z_{с.з.1}^{II}$

Расчетное условие	Значение, Ом	Кч _{Зр}
-------------------	--------------	------------------

Согласование с первой ступенью защиты 2	4,62+j8,992	0,91
Согласование со второй ступенью защиты 2	8,63+j10,659	1,08

В соответствии с полученными результатами вторая ступень ДЗ $Z_{с.з.1}^{II}$ не удовлетворяет требованию чувствительности ($K_{чзп} > 1,25$) при повреждениях в конце защищаемой линии. Мера по повышению чувствительности в зоне ближнего резервирования путем согласования со второй ступенью ДЗ линии Л-2 является неэффективной ($K_{чзп} = 1,08 < 1,25$). В связи с этим, для обеспечения чувствительности и приемлемой ВВ второй ступени ДЗ, обеспечивающей ближнее резервирование основной защиты линии Л-1, необходимо, чтобы КЗ, возникающие на линии Л-2, были отключены защитами без ВВ, то есть ускорять действие ступенчатой защиты по средствам сигнала ВЧТО.

В таком случае, первичное сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 определяется следующими условиями:

- отстройка от КЗ на шинах подстанции С при двух линиях на участке подстанции В - подстанции С;

- согласование с первой ступенью защит 7, 8.

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сопротивление срабатывания $Z_{с.з.1}^{II}$ с учетом телеускорения защит на линии Л-2

Расчетное условие	Значение, Ом	$K_{чзп}$
Согласование с первой ступенью защиты 3	6,14+j11,499	1,16
Согласование со второй ступенью защиты 3	13,328+j28,09	-
Отстройка от КЗ на шинах подстанции С	8,38+j16,64	1.5
Согласование с первой ступенью защиты 7	14,78+j24,63	-
Согласование с первой ступенью защиты 8	15,81+j26,18	-

Согласно полученным результатам определяющим условием при выборе первичного сопротивления срабатывание второй ступени защиты 1 стала отстройка от КЗ на шинах подстанции С. При такой уставке обеспечивается надежное ближнее резервирование защищаемой линии.

В таблице 2 также представлены результаты расчета $Z_{с.з.1}^{II}$ при согласовании с первой и второй ступенями ДЗ линии Л-3. Видно, что согласование с первой ступенью защиты 3 является определяющим условием, но в этом случае требования чувствительности защиты не обеспечиваются. Поэтому ускорение действия ступенчатых защит на линиях Л-2 и Л-3 рассматриваемого участка сети является оптимальным и целесообразным решением.

Выводы

1. Рост мощности, усложнение распределительных и магистральных сетей, переход на современные микропроцессорные УРЗ определяют необходимость изменения подхода к выбору параметров срабатывания ступеней ДЗ.

2. Применение новых возможностей современных защит позволяет выполнить корректный выбор параметров срабатывания защит, обеспечивая селективность и чувствительность их действия, а также выполнить требования, обусловленные особенностями современного вновь устанавливаемого первичного оборудования электроэнергетических систем.

Использованная литература:

1. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. - Перевод с англ. Под ред. Дьякова А.Ф. - М.: Энергоиздат. 2005 - 322 с.
2. Гарке В. Г., Конова Е. А. Расчет уставок современной дистанционной защиты // Релейная защита и автоматизация. – 2011. - №3. – с. 50-56.
3. Руководящие указания по релейной защите/ Выпуск 7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ. - М.: Энергия, 1966. - 172 с., с черт.
4. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - 549 с: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСА ЭНЕРГИИ В ИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ТЕМП-4М

Хайлов И.П., Исакова Ю.И.

Научный руководитель: Пушкарев А.И., д. ф.-м. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: khailov@tpu.ru

Аннотация. Выполнены исследования баланса энергии в генераторе импульсных ионных пучков гигаватной мощности ТЕМП-4М при работе ускорителя в одно- и двухимпульсном режимах. Получено, что работа ускорителя без зарядной индуктивности позволяет увеличить эффективность передачи энергии в нагрузку в 1.5 раза. Определены потери энергии в разрядниках и в формирующей линии, в зарядной индуктивности.

Радиационно-пучковое модифицирование мощными ионными пучками позволяет получать в поверхностных слоях материалов составы и структуры, недоступные ни одному из традиционных металлургических способов [1]. Воздействие пучков заряженных частиц, инициируя в металлах и сплавах целый ряд физических явлений термического, термомеханического и диффузионного характера, приводит к их структурным и фазовым превращениям. В результате изменяются свойства материалов: твердость, прочность, износостойкость; повышаются эксплуатационные характеристики изделий из них. Для повышения эффективности генерации мощного ионного пучка необходимо увеличить эффективность передачи энергии в самой установке. С этой целью были проведены исследования баланса энергии и расчет передачи энергии в узлах ускорителя ТЕМП-4М [2] при работе ускорителя в одно- и двухимпульсном режимах. Схема ускорителя ТЕМП-4М показана на рис. 1.

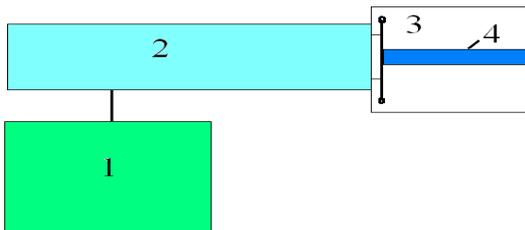


Рис. 1. Функциональная схема ускорителя: 1 – генератор импульсного напряжения; 2 – двойная формирующая линия, 3 - диодная камера, 4 – нагрузка.

Измерения напряжения и тока на выходе генератора импульсного напряжения (ГИН) и двойной формирующей линии (ДФЛ) проводили при работе ускорителя на согласованную водяную нагрузку и на ионный диод с магнитной самоизоляцией. Ток измеряли поясом Роговского. Напряжение контролировали высокочастотным высоковольтным делителем, установленным на выходе ГИНа и перед диодным узлом [3].

1. Калибровка диагностического оборудования.

При калибровке на высоком напряжении в качестве нагрузки необходимо использовать длинную трубу с водным раствором, чтобы избежать пробоя по поверхности трубы и в слое водного раствора. На высоких частотах необходимо учитывать самоиндукцию тока в нагрузке, поэтому нагрузка представляет собой последовательное соединение индуктивности и активного сопротивления. На рис. 2 приведены экспериментальные и расчетные значения напряжения на выходе ДФЛ в двухимпульсном режиме.

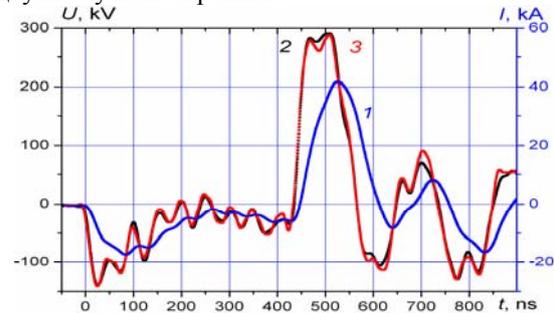


Рис. 1. Осциллограммы полного тока (1) и напряжения (2- эксперимент, 3 – расчет).

Напряжение на выходе ДФЛ рассчитывали по показаниям пояса Роговского по формуле:

$$U_{ДФЛ} = R_H \cdot I_{ПП} + L_H \frac{dI_{ПП}}{dt}$$

Экспериментальные и расчетные значения напряжения хорошо совпадают в течение формирования основного импульса напряжения и на послеимпульсах. Это подтверждает корректность измерения тока и напряжения.

2. Баланс энергии ускорителя при работе на согласованную нагрузку.

Энергию, поступающую из генератора импульсного напряжения в ДФЛ, определяли интегрированием произведения напряжения на зарядный ток. Расчет энергии, переданной из ДФЛ в активное сопротивление нагрузки, проводили 3 способами: 1. Интеграл произведения тока на падение напряжения на нагрузке. 2. Интеграл произведения квадрата тока на $R=4.7$ Ом. 3. Интеграл произведения тока на скорректированное падение напряжения на активной нагрузке. ($U_k=U_d - LdI/dt$). При расчете энергии, переходящей из ДФЛ в нагрузку, рассчитывали два значения: интегрирование только в течение основного импульса напряжения и интегрирование в течение основного импульса и послеимпульсов. Выполненные исследования показали, что при работе ускорителя в одноимпульсном режиме на генерацию мощного

ионного пучка поступает не более 45% энергии, накопленной в ДФЛ. Особенностью конструкции ДФЛ является наличие зарядной индуктивности, соединяющей электрод внутренней линии с корпусом. Она обеспечивает зарядку емкости между электродами внутренней и средней формирующих линий. Но при генерации импульса напряжения зарядная индуктивность подсоединяется параллельно нагрузке, снижая эффективность передачи энергии из генератора наносекундных импульсов в нагрузку в течение генерации основного (положительного) импульса. Потери энергии в зарядной индуктивности, в разрядниках и в ДФЛ за счет проводимости диэлектрика (воды) достигают 35%.

При модернизации ускорителя ТЕМП-4 мы убрали зарядную индуктивность в ДФЛ. Выполненные исследования показали, что тока, протекающего через диод (или согласованную нагрузку) в течение первого импульса, достаточно для полной зарядки внутренней формирующей линии. Зарядка происходила только через предварительный газовый разрядник и диод (или согласованную нагрузку). Энергия, поступающая на первом импульсе из ГИНа в ДФЛ, расходуется не только на зарядку внутренней линии, но и на формирование взрывоэмиссионной плазмы на поверхности потенциального электрода диода, эмиссию и ускорение электронов в А-К зазоре диода (или на резистивные потери в нагрузке). Потери энергии в диоде при зарядке ДФЛ (на первом импульсе) можно рассчитать из ВАХ диода как интеграл произведения тока диода на ускоряющее напряжение. Тогда полная энергия в ДФЛ к началу генерации основного импульса напряжения равна разности энергии, передаваемой из ГИНа в ДФЛ и потерь энергии в диоде при зарядке ДФЛ. На рис. 3 приведены результаты измерения баланса энергии.

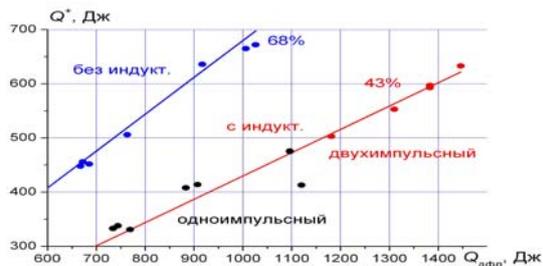


Рис. 3. Эффективность работы ДФЛ. Сводные данные для трех режимов работы на согласованную нагрузку.

При работе ДФЛ в двухимпульсном режиме зарядная индуктивность отсутствует. Потери энергии в разрядниках и в ДФЛ за счет проводимости диэлектрика (воды) достигают 25%. Тогда потери

энергии в зарядной индуктивности составляют 10%.

3. Баланс энергии при генерации МИП.

Выполненные исследования показали, что высокая эффективность передачи энергии из ДФЛ в нагрузку в течение основного импульса сохраняется и при работе ускорителя ТЕМП-4М на диод. На рис. 4 приведены результаты анализа баланса энергии.

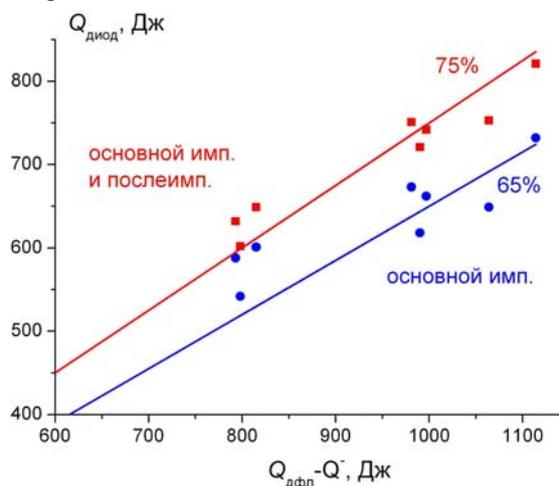


Рис. 4. Эффективность работы ДФЛ при генерации МИП.

Заключение.

Выполненные исследования баланса энергии в генераторе импульсных ионных пучков гигаваттной мощности ТЕМП-4М показали, что работа без зарядной индуктивности позволяет увеличить эффективность передачи энергии в нагрузку в 1.5 раза. Потери энергии в разрядниках и в ДФЛ за счет проводимости диэлектрика достигают 25%. Потери энергии в зарядной индуктивности составляют 10%.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК П943 от 27 мая 2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бытрицкий В.М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки. - М.: Энергоатомиздат, 1984.-152 с.
2. Патент РФ на ПМ №86374. МПК8 H05H 9/00. Импульсный ионный ускоритель / А.И. Пушкарев, В.А. Тарбоков, Р.В. Сазонов. Заявлено 27.04.2009, Оpubл. 27.08.2009, Бюл. № 24.
3. Yulia I. Isakova. Diagnostic Equipment for the ТЕМП-4М Generator of High-current Pulsed Ion Beams // Journal of the Korean Physical Society, Vol. 59, No. 6, December 2011, 35313535.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВСЕРЕЖИМНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Т.С. Хомяков

Научный руководитель: Ю.В. Хрущев д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tapac509@sibmail.com

Электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой большие и очень сложные системы. В силу этого неизбежным становится представление исследуемой реальной ЭЭС ее моделью, всегда упрощенной по сравнению с оригиналом. Упрощение (или эквивалентирование) является неотъемлемой частью моделирования.[1]

При рассмотрении системы в масштабе объединенной энергосистемы (ОЭС), некоторые подсистемы могут быть представлены совокупностью эквивалентных нагрузочных элементов (рис.1.).



Рис.1. Схема эквивалентной подсистемы

Для отображения свойств упрощаемой подсистемы используются эквивалентные синхронные (СД), асинхронные (АД) электродвигатели и статические элементы нагрузки (СН).

Первым этапом является построение статических характеристик по исходной схеме подсистемы с учетом статических характеристик ее элементов.

Под статической характеристикой подсистемы понимается зависимость активной или реактивной мощности от напряжения в узле ее примыкания.[2]

Элементы эквивалентруемой подсистемы характеризуются рядом статических параметров отображающих их поведение в установившихся режимах. Нахождение этих параметров осуществляется на основе статических характеристик подсистемы. Расчет таких характеристик осуществляется при условии, что узел примыкания подсистемы принят за балансирующий. На основе этого проводится расчет серии установившихся режимов при изменении напряжения в этом узле с фиксацией суммарных значений активной и реактивной мощностей узла.

Далее осуществляется декомпозиция полученных статических характеристик. Декомпозиция представляется как операция разделения статической характеристики подсистемы на статические характеристики отдельных элементов нагрузки в соответствии с долевым участие каждого вида. Долевое участие каждого вида активной нагрузки (СД, АД) определяется в нормальном режиме под-

системы по фактическим или усредненным данным о ее состоянии. Затем по усредненным параметрам (параметрам схемы замещения) строятся статические характеристики этих элементов. Разность между характеристикой подсистемы и суммарной характеристикой активных нагрузочных элементов представляется статической нагрузкой. На рис.2. представлен пример декомпозиции статической характеристики реактивной мощности подсистемы.

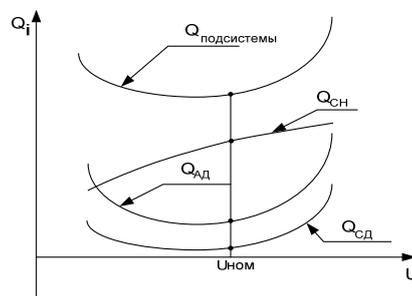


Рис.2. —Декомпозиция статической характеристики подсистемы $Q(U)$ по долевым участию эквивалентных элементов

Однако подсистема может содержать как комплексную нагрузку, так и отдельно одну из ее составляющих. Тогда возникает необходимость решения задачи восстановления по данной характеристике параметров соответствующего эквивалентного элемента.

1) Схема содержит в себе синхронный двигатель (СД). Исходные параметры:

$$E_q, x_d, P.$$

Реактивную мощность, потребляемую синхронным двигателем, можно вычислить по выражению:

$$Q_{CD} = \frac{U^2}{x_d} - \sqrt{\left(\frac{E_q \cdot U}{x_d}\right)^2 - P^2} \quad (1)$$

Считаем, что активная мощность синхронного двигателя является величиной постоянной.

На основе выше изложенного строим статическую характеристику нагрузки (рис.3.).

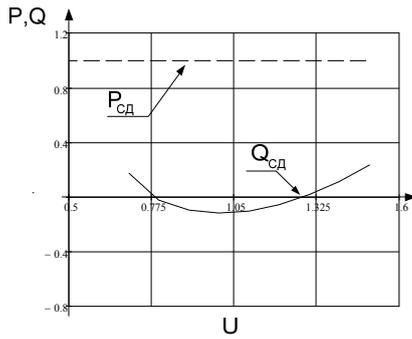


Рис.3. – Статические характеристики синхронного двигателя.

По двум точкам на характеристике $Q(U)$ и одной точке на характеристике $P(U)$ с помощью системы (2) восстанавливаем параметры данного элемента:

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{U_1^2}{x_d} - \sqrt{\left(\frac{E_q \cdot U_1^2}{x_d}\right)^2 - P^2}, \\ Q_2 = \frac{U_2^2}{x_d} - \sqrt{\left(\frac{E_q \cdot U_2^2}{x_d}\right)^2 - P^2}. \end{cases} \quad (2)$$

2) Схема содержит в себе асинхронный двигатель (АД). Исходные параметры:

$$r, X_s, X_\mu, P.$$

Рассматриваем случай, когда активная мощность, потребляемая АД постоянна, тогда:

$$P_{АД} = \frac{U^2 \cdot s \cdot r}{X_s^2 \cdot s^2 + r^2} \quad (3)$$

$$Q_{АД} = \frac{U^2}{x_\mu} + \frac{U^2 \cdot s^2 \cdot X_s}{X_s^2 \cdot s^2 + r^2} \quad (4)$$

Из уравнения (3) выражаем скольжение АД и подставляем в уравнение (4). По полученному выражению строим статическую характеристику (рис.4.).

Далее необходимо рассмотреть две точки на данной характеристике:

А) Режим при критическом напряжении, приняв:

$$s_{кр} = \frac{r}{X_\mu} \approx 15 - 20\%$$

Б) Произвольную точку на характеристике.

Затем по значениям данных точек с помощью уравнений (3) и (4) находим искомые параметры данного элемента.

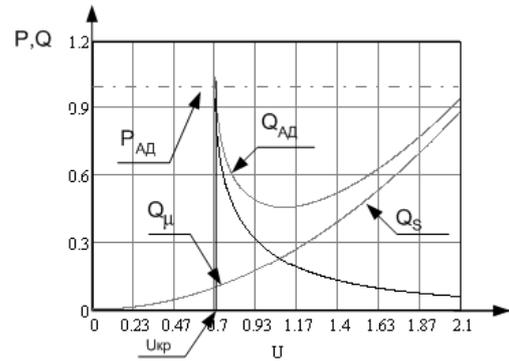


Рис.4 - Статические характеристики асинхронного двигателя.

Задаваясь обобщенными статическими параметрами элементов, построим для них реальные статические характеристики. Далее произведем операцию восстановления по данным характеристикам исходных принятых параметров элементов, для обоснования адекватности выбранного пути решения поставленной задачи:

Результаты контрольных вычислений приведены в таблице №1.

Таблица №1- Результаты расчетов

С Д	Исходные параметры, о.е.			Полученные параметры, о.е.				
	E_q	x_d	P	E_q	x_d	P		
	1.5	1	1	1.5	1	1		
Координаты выбранных точек на статических характеристиках								
1) $U_1=0.9, Q_1=-0.0969, P=1$								
2) $U_2=1.1, Q_2=-0.102, P=1$								
А Д	r	X_s	X_μ	P	r	X_s	X_μ	P
	0.05	0.25	5	1	0.05	0.25	5	1
Координаты выбранных точек на статических характеристиках								
1) $U_1=0.7, P=1$								
2) $U_2=0.9, Q_2=0.507, P=1$								

Полученные результаты полностью совпадают с искомыми параметрами.

Вывод: Статические характеристики нагрузки имеют всю необходимую информацию для нахождения статических параметров эквивалентных нагрузочных элементов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1983. – 536с.
2. Жуков Л.А., Стратан И.П. Установившиеся режимы сложных электрических систем и сетей. – М.: Энергия, 1979.-416с.

К ВОПРОСУ О СЕЛЕКТИВНЫХ ЗАЩИТАХ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Худякова И. А., Костарев И. А.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

E-mail: eternal-autumn@mail.ru

Одно из наиболее частых повреждений в сетях 6-35 кВ – однофазные замыкания на землю - ОЗЗ (75-90% от общего числа электрических повреждений) [6]. Они приводят к перенапряжениям, повреждению изоляции, многофазным коротким замыканиям, крупным авариям, сопровождающимся значительными ущербами.

Для ограничения величины тока замыкания на землю и разрушительного действия дуги нейтраль заземляется через дугогасящий реактор (ДГР). Применение такого реактора, в свою очередь, ограничивает область применения существующих видов защит.

В настоящее время используются защиты от ОЗЗ, основанные на следующих принципах:

1. Измерение напряжения нулевой последовательности;
2. Измерение тока нулевой последовательности промышленной частоты;
3. Измерение и сравнение направления мощности нулевой последовательности;
4. Измерение и сравнение гармонических составляющих в токе ОЗЗ всех присоединений;
4. Измерение переходных токов и напряжений нулевой последовательности при возникновении ОЗЗ;
5. Принцип наложения постороннего переменного тока с частотой, отличной от промышленной;
6. Комбинирование устройств, сочетающих положительные свойства направленных защит от ОЗЗ, учитывающих ток основной частоты 50 Гц и защит от ОЗЗ, использующих токи высших частот.

Рассмотрим эти защиты подробнее и оценим возможность их селективной работы в сетях с компенсированной нейтралью.

1. Измерение напряжения нулевой последовательности.

Появление напряжения нулевой последовательности и изменение фазных напряжений по отношению к земле при возникновении ОЗЗ используют для общей неселективной сигнализации ОЗЗ или общей неселективной защиты от ОЗЗ. Поиск повреждённого присоединения ведётся поочерёдным отключением присоединений в течение нескольких часов.

Такая защита не может быть селективной по своему принципу в сети с числом отходящих линий более одной.

2. Измерение тока нулевой последовательности промышленной частоты.

При резонансной настройке ДГР как при внешнем, так и при внутреннем ОЗЗ токи нулевой последовательности равны между собой как по амплитуде, так и по фазе. Эти токи определяются собственными емкостями линий относительно земли (если не учитывать активную составляющую тока через ДГР).

Поэтому способы абсолютного и относительного замера токов нулевой последовательности, а так же абсолютного и относительного замера направления полной или реактивной мощности нулевой последо-

вательности в сети с ДГР не могут быть использованы для выполнения селективной сигнализации или защиты от ОЗЗ [1].

3. Измерение и сравнение направления мощности нулевой последовательности.

Для селективного действия направленной защиты от ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью можно использовать активную составляющую тока замыкания на землю, обусловленную потерями в ДГР и активной проводимостью фаз сети. Активный ток составляет несколько процентов от $I_{сх}$ (в предельных случаях снижается до 1/50-ой) [4]. Поэтому реле направления мощности должны обладать высокой чувствительностью по углу, а фильтры нулевой последовательности – иметь малые погрешности.

Основной недостаток таких защит – излишние срабатывания при перемежающихся дуговых замыканиях.

4. Измерение и сравнение гармонических составляющих в токе ОЗЗ всех присоединений.

В компенсированных сетях ДГР компенсирует только основную гармонику емкостного тока замыкания на землю в поврежденной ЛЭП, высшие гармоники этих токов остаются некомпенсированными.

Токи нулевой последовательности неповрежденных ЛЭП, идущие к месту замыкания, суммируются в поврежденной ЛЭП. Вследствие этого и высшие гармоники тока нулевой последовательности (ТНП) поврежденного присоединения равны сумме гармонических ТНП всех неповрежденных присоединений. К этой сумме в компенсированной сети добавляются гармоники индуктивного тока ДГР (вследствие нелинейности характеристики намагничивания ДГР).

Различие в уровне высших гармоник тока ТНП в поврежденной и неповрежденных ЛЭП используется для выполнения селективных РЗ, реагирующих на высшие гармоники.

РЗ, основанные на таком принципе, отстраиваются от влияния токов высших гармоник переходного режима, поэтому они не могут фиксировать кратковременных замыканий на землю.

Нестабильность и случайный характер гармонического состава напряжения и тока в сети так же приводят к ложному срабатыванию устройств защиты от ОЗЗ.

5. Измерение переходных токов и напряжений нулевой последовательности при возникновении ОЗЗ.

В переходном процессе при ОЗЗ амплитуда первой полуволны переходного тока нулевой последовательности поврежденной линии в несколько раз превышает значения амплитуд токов неповрежденных линий. Это позволяет выполнить защиты, основанные на контроле этого тока [1].

В начальной стадии переходного процесса мгновенная мощность нулевой последовательности в начале поврежденной линии имеет отрицательный знак, а в начале неповрежденной линии — положительный

знак. Этот принцип лежит в основе импульсной направленной защиты нулевой последовательности.

РЗ, основанные на таком принципе, реагируют только на электрические величины переходного процесса, поэтому не обладают свойством непрерывности действия при устойчивых замыканиях на землю.

6. Принцип наложения переменного тока с частотой, отличной от промышленной.

Источник наложенного тока частотой 25 герц включают в нейтраль сети и фиксируют токи частотой 25 герц в защищаемых присоединениях.

В работе заложен следующий принцип. Амплитудно-частотные спектры имеют две характерные области. При частотах ниже промышленной, амплитуды гармоник в поврежденной линии больше амплитуд гармоник в неповрежденной линии. При частотах выше промышленной амплитуды гармоник неповрежденной линии больше амплитуд гармоник поврежденной линии. Эти качественные особенности спектров сохраняются при возможном многообразии параметров, влияющих на процессы при перемежающихся замыканиях [5].

Недостатками устройств, основанных на использовании «наложенного» тока с частотой 25 Гц, являются влияние на устойчивость функционирования защиты погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности, возрастающих при уменьшении рабочей частоты; усложнение схемы первичной коммутации из-за необходимости подключения источника «наложенного» тока; сложности отстройки от естественных гармонических составляющих при внешних дуговых перемежающихся ОЗЗ [4].

7. Комбинированные защиты от ОЗЗ.

Комбинированные защиты от ОЗЗ построены на основе совмещения нескольких принципов защит от ОЗЗ, например, сравнение знаков производной напряжения нулевой последовательности dU_0/dt в заданном диапазоне частот и тока I_0 переходного процесса, а второй — сравнение знаков высших гармоник тех же величин установившегося режима ОЗЗ.

Защиты, работающие по таким принципам обладают свойством непрерывности действия при устой-

чивых повреждениях, способностью обеспечить селективное срабатывание при прерывистых дуговых замыканиях. Однако, такие устройства характеризуются сложностью их реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа существующих защит от ОЗЗ можно сделать вывод, что универсального устройства, удовлетворяющего требованию селективности защиты от ОЗЗ в сети с компенсацией емкостных токов, нет. Это связано с вероятностным характером протекания ОЗЗ (через переходное сопротивление, перемежающуюся дугу и пр.), изменением конфигурации сети.

Таким образом, для успешной работы устройств защиты от ОЗЗ, необходимо совершенствовать уже существующие типы защит от ОЗЗ, либо предложить устройство защиты, работающее по другим принципам. Как альтернативный вариант первым двум решениям, можно применять комбинированное заземление нейтрали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуин В. А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001.
2. Шабад М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ. — М.: НТФ "Энергопрогресс", 2007.
3. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. — М.: Высш. шк., 2006.
4. Устройство защиты SIPROTEC 7SJ6. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
5. Вайнштейн Р. А. Защита от замыканий на землю генераторов и сетей среднего напряжения на основе использования низкочастотных составляющих токов нулевой последовательности. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2011.
6. Шалин А.И. Релейная защита от замыканий на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали // Ограничение перенапряжений: материалы 4-ой Всероссий. Науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2004.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ОСНОВНЫХ СТУПЕНЕЙ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ

Чан Хоанг Куанг Минь

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: thqminhkt@gmail.com

Вероятностные подходы, алгоритмы и методы для задач электроэнергетики, в том числе для проектирования и настройки релейной защиты и автоматики [1] позволяют выявить резервы построения и настройки ступенчатых релейных защит, разрабатываемых с помощью руководящих указаний. Вероятностное проектирование ступенчатых релейных защит основано [2] и развито [4,5] на определении понятия технической эффективности E^* релейной защиты (РЗ) и разработке алгоритма вычисления последней, которая в указанных материалах уточнена и конкретизирована как разность потенциально возможного эффекта E в виде вероятности коротких замыканий (КЗ) на защищаемом объекте $r(A)$, для устранения которого предназначена РЗ и вероятности потерь $r(\Pi)$, отнесенная к потенциально возможному эффекту $r(A)$. Данные потери в виде вероятностей отказов срабатывания $r(O)$ при КЗ на защищаемом объекте, излишних действий $r(I)$ при КЗ на внешних элементах электрической сети и ложных действий $r(L)$ при отсутствии КЗ должны быть приведены к одним и тем же условиям учета. Ложные действия возможны в рабочих, неполнофазных режимах, бросках тока намагничивания и их целесообразно рассматривать отдельно, чтобы ранжировать влияние на работу РЗ. Как видно, условия (факторы), в которых возникают потери потенциально возможного эффекта РЗ: КЗ, ненормальные и рабочие режимы, являются ничем иным как различными проявлениями функционирования сети в различных эксплуатационных и аварийных режимах, модифицируемых коммутациями и видами КЗ. Названные факторы непосредственно связаны с проектно-наладочной и эксплуатационной настройкой РЗ, т.е. ее уставками.

Расчеты технической эффективности и оптимизации по указанным алгоритмам могут быть организованы при известных уставках. Следовательно, предварительным является определение или назначение уставок защищаемых объектов сети. Это осуществляется в настоящее время по логически непротиворечивым процедурам руководящих указаний. Также необходимы режимно-токовые отношения (коэффициенты токораспределения) для перевода сопротивлений из собственных координат в координаты соседних предыдущих и смежных элементов сети. Условные вероятности отказов срабатывания и совместных действий для ступеней дистанционных защит при КЗ на защищаемой и предыдущих линиях определяются как вероятности принятия значениями сопротивлений из заданных интервалов, формируемых уставками

ступеней от predetermined логикой защит на концах линий. Причем распределение вероятностей сопротивлений от аппаратуры РЗ до места КЗ является равномерным, а измеряемых сопротивлений аппаратурой РЗ в рабочих режимах по нормальному закону.

С целью сокращения вариантов выбора уставок при оптимизации в [5] был проведен структурно-режимный анализ параметра реагирования и сопутствующих характеристик, т.е. измеряемые сопротивления прямой последовательности, уставки по сопротивлению и по времени, техническую эффективность при КЗ вдоль пространства защищаемых и внешних линий. При таком рассмотрении функционирования ступенчатых РЗ для каждого канала (ступени) дистанционной защиты наглядно наблюдаются: 1) непрерывное (практически линейное) увеличение ложных действий при увеличении уставки по сопротивлению, и 2) отсутствие отказов срабатывания при измеряемых сопротивлениях до места КЗ на предыдущем элементе (вторая ступень). Излишние действия второй ступени имеют место при совмещении: 1) измеряемых сопротивлений при КЗ на предыдущих элементах, уставка первой ступени защиты которых по величине меньше уставки второй ступени защищаемого элемента, и 2) одновременности действий вторых ступеней комплектов РЗ на защищаемом и предыдущих элементах.

Анализ показывает, что при настройке ступенчатых РЗ сети с использованием каналов связи (подачи сигналов или дифференциального принципа) оказываются полностью исключенными функциональные отказы срабатывания и излишние действия основных ступеней, остаются только потери ложных действий. Данное построение и настройка ступенчатых РЗ используют положительные свойства существующих основных РЗ линий с обменом информацией между комплектами на их концах. Этот вариант РЗ целесообразно в дальнейшем назвать наилучшим, но дорогим из-за необходимости канала обмена. В связи с этим целесообразно рассмотреть другие менее дорогие варианты построения и настройки РЗ линии без канала обмена, но по свойствам, приближающимся в некоторой степени к наилучшему. Рассмотрение таких менее совершенных вариантов вполне возможно благодаря разработанному аппарату технической эффективности РЗ, позволяющего количественно оценивать качество канала РЗ. Анализ дает несколько рекомендаций для настройки основных ступеней дистанционных РЗ линий на основании расчета технической эффективности:

1)настройка первой ступени путем оптимизации технической эффективности с учетом всех составляющих потерь. При этом экспертным или экономическим путем должно быть задано соотношение удельных весов между излишними и ложными действиями, с одной стороны, и отказами срабатывания, с другой.

2)настройка второй ступени, исходя из минимума потерь излишних действий

С использованием указанных анализа и алгоритмов в расчетной схеме электрической сети на рис.1 получатся результаты, представленные в таблице 1 и 2. При расчетах были заданы значения постоянных коэффициентов токораспределения между защищаемой и предыдущими линиями, соотношения удельных весов между излишними и ложными действиями с одной стороны и отказами срабатывания с другой стороны.

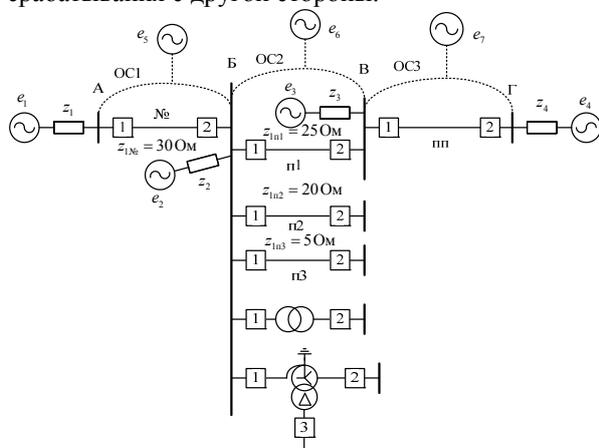


Рисунок 1. Условная схема сети для расчета технической эффективности

Таблица 1. Техническая эффективность первой ступени дистанционных РЗ линий № при варьировании уставки первой ступени Z.

Z	p(O)	p(I)	E	E*
30	$1,87 \cdot 10^{-11}$	$0,39 \cdot 10^{-11}$	$23,06 \cdot 10^{-11}$	92,35
33	$0,81 \cdot 10^{-11}$	$0,66 \cdot 10^{-11}$	$24,17 \cdot 10^{-11}$	96,49
36	0	$1,03 \cdot 10^{-11}$	$24,94 \cdot 10^{-11}$	99,59
39	0	$1,33 \cdot 10^{-11}$	$24,00 \cdot 10^{-11}$	99,67

Таблица 2. Техническая эффективность второй ступени дистанционных РЗ линий № при варьировании уставки второй ступени Z.

Z	p(O)	P(I)	E*
38,5	0	$8,57 \cdot 10^{-12}$	99,638
37,5	0	$8,31 \cdot 10^{-12}$	99,668
37	0	$8,18 \cdot 10^{-12}$	99,674

36,5	0	$8,05 \cdot 10^{-12}$	99,679
36	0	$7,92 \cdot 10^{-12}$	99,684
35,5	0	$7,83 \cdot 10^{-12}$	99,689

Из результатов видно что, настройка для первой ступени ДЗ может быть при оптимальном значении технической эффективности, а для второй ступени при минимальном значении вероятности излишних действий с учетом удовлетворительной чувствительности. При расчетах E^* в табл. 1 и 2 использовать значение $p(A_{\text{№}}^{I(M)}) = 2,497 \cdot 10^{-10}$, $p(A_{\text{№}}^{II(M)}) = 2,505 \cdot 10^{-9}$.

Заключение:

1.Использование разработанных алгоритмов определения технической эффективности РЗ позволяет количественно объективно оценить качество каналов ступенчатых дистанционных РЗ при различном их построении и настройке.

2. Кроме варианта с использованием канала с обменом информацией, можно предложить новый вариант построения и настройки ступенчатых дистанционных РЗ линий без использования обменного канала: 1) с оптимальной настройкой второй ступени, исходя из минимума потерь излишних действий, и 2) с оптимальной настройкой первой ступени, исходя из максимума технической эффективности.

Литература

- 1.Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатъев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики // Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики» – 2008 – № 7 – 8/1. – С. 144–155.
- 2.Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
- 3.Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество – 2009. – №12. – С. 19–26.
- 4.Прутик А.Ф., Чан Минь, Шмойлов А.В. Селективность и техническая эффективность релейной защиты и автоматики // Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики» – 2010. – №.3–4/1. – С.154–163.
- 5.Ле Тхи Хоа, Чан Хоанг Куанг Минь, Шмойлов А.В. Анализ дистанционных защит линий и разработка рекомендаций для них настройки // Журнал Известия ВУЗов «Электромеханика» 2011. – № 6. – С.92–97.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИНХРОННОГО ЗАПУСКА И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВЧ-ГЕНЕРАТОРОВ СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ТОКАМАКА КТМ

Черноусов Е.А.

Научный руководитель: Байструков К.И.

ООО «ТомИУС-ПРОЕКТ»

E-mail: Evgeny-cea@yandex.ru

Токамак – это электрофизическая установка, основное назначение которой – получить высокотемпературную плазму (т.е. нагреть газ до 100 млн. градусов), добиться ее высокой плотности и заставить существовать достаточно долго в строго заданном объеме. Что позволит осуществить термоядерную реакцию синтеза ядер гелия из исходного сырья - изотопов водорода: дейтерия и трития. В ходе термоядерной реакции должна выделяться энергия, которая существенно больше, чем энергия, затрачиваемая на формирование плазмы.

Согласно настоящему уровню развития экспериментальных исследований токамаки представляют собой физические установки, в которых

поджигается и в течение нескольких секунд поддерживается высокотемпературная плазма.

Термоядерные параметры плазмы в токамаке достигаются за счет нескольких способов нагрева: индукционного, ВЧ-нагрева (на частотах ионноциклотронного и нижнегибридного резонансов) и СВЧ-нагрева (на частоте электронноциклотронного резонанса). В настоящей работе представлено решение для управления высокочастотными генераторами дополнительного ВЧ-нагрева плазмы в токамаке КТМ, построенного в г. Курчатов, Республики Казахстан. В состав системы ВЧ-нагрева плазмы (см. рисунок 1) входит четыре генераторных блока с источником высоковольтного питания, которые имеют локальные системы автоматики (ЛСА).

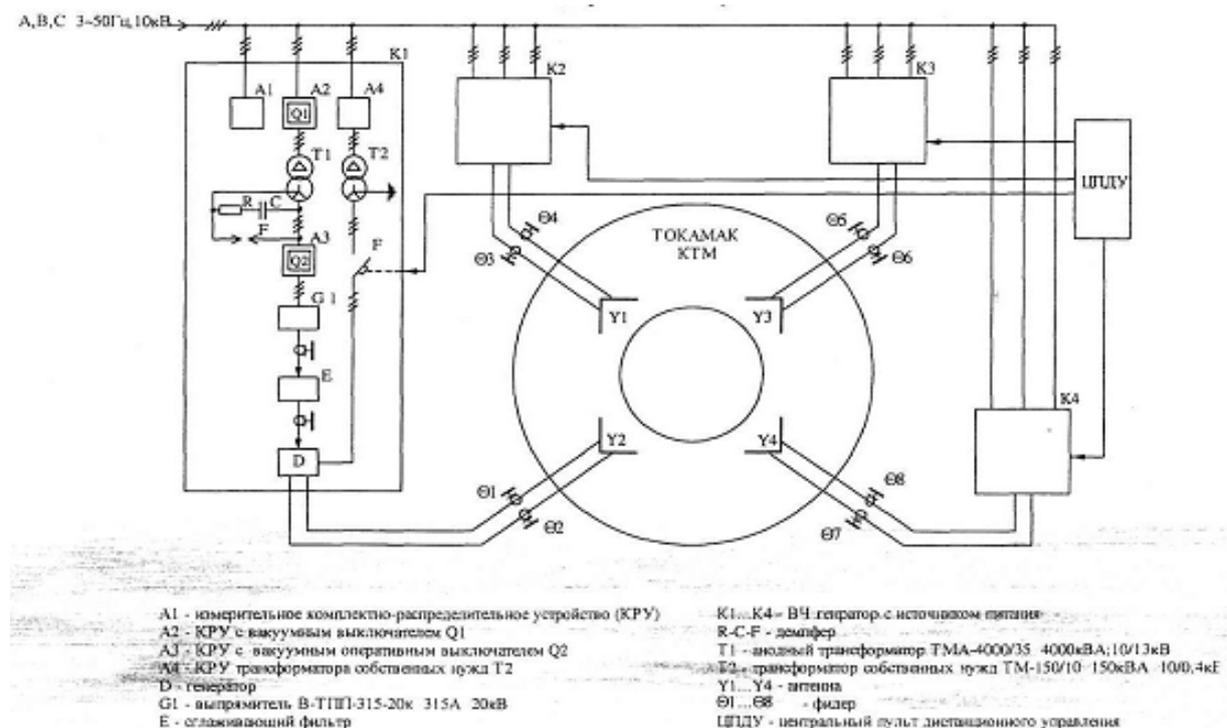


Рисунок 1 – Блок-схема ВЧ нагрева плазмы в установке токамак КТМ

ЛСА построена по двухуровневой распределенной схеме и предусматривает измерение, сигнализацию, визуализацию параметров генераторов ВЧ на местных пультах. Для осуществления дистанционной настройки генераторов перед пуском, их синхронного запуска, а также централизованного контроля и защиты высококачественного оборудования, ЛСА должны быть интегрированы в общую систему автоматизации экспериментов (САЭ) комплекса КТМ.

На рисунке 2 изображена структурная схема взаимодействия локальных систем автоматики с САЭ. Пульт управления КТМ позволяет оператору комплекса наблюдать параметры ВЧ-генераторов и высоковольтных источников питания (ИП). Передача параметров при этом выполняется по каналам Ethernet локальной вычислительной сети экспериментального комплекса. Синхронный запуск, оперативный контроль аварийных состояний и отключение ВЧ-генераторов выполняется от центрального блока синхронизации посредством оп-

тического интерфейса POF, с длиной волны световых импульсов 600 нм. Состав параметров, передаваемый между локальными системами автоматики и САЭ, представлен в таблице 1

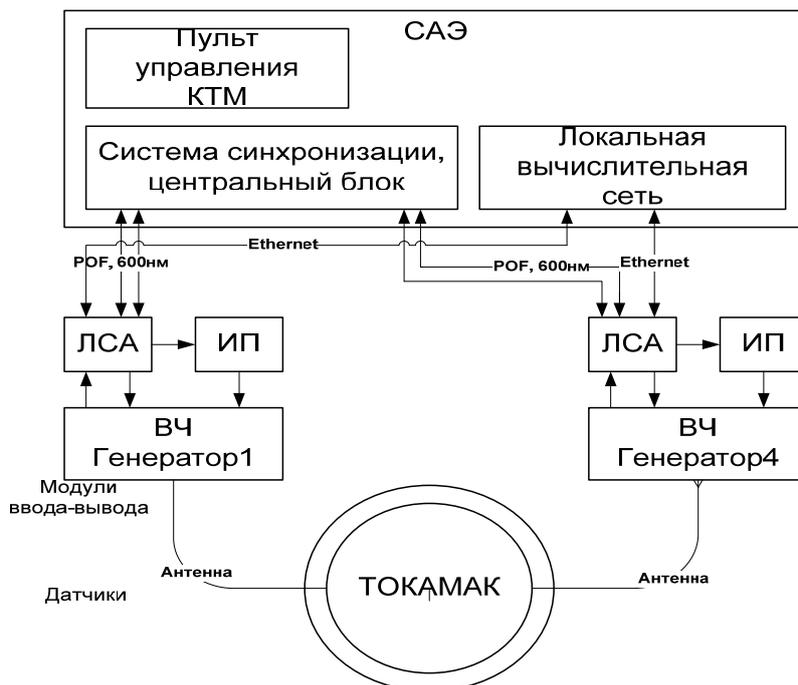


Рисунок 2 – Структурная схема взаимодействия локальных систем автоматики с САЭ
Таблица 1 -Параметры контроля и управления генератора и вспомогательных систем

Наименование параметра	Ед. изм.	Предельное значение	Измерение	Сигнализация	Отображение: местный пульт	Отображение: компьютер
Ток накала лампы	А	1000	да	да	нет	да
Напряжение накала лампы	В	26	да	да	нет	да
Ток анода	А	120	да	да	да	да
Напряжение на аноде	кВ	18	да	да	да	да
Ток сетки	А	22	да	нет	да	да
Расход воды охлаждения лампы	л/мин	450	да	да	нет	да
Удельное сопротивление воды охлаждения	КОм · см	500	да	нет	нет	Да
Давление воды охлаждения	МПа	0,4	да	да	нет	Да
Температура воды охлаждения на входе	°С	10	да	да	нет	Да
Температура воды на выходе (сливе)	°С	55	да	да	нет	Да
Число оборотов сеточного контура	Об.	60	да	нет	да	Полож.
Число оборотов анодного контура	Об	60	да	нет	да	Полож.
Температура керамики лампы	°С	200	да	нет	нет	нет

Список литературы

1 ТОКАМАК: портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/токамак>. Дата обращения: 05.02.2012.

2. Система синхронизации и противоаварийной защиты: учебное пособие / В.М. Павлов, К.И. Байструков, С.В. Меркулов; ТПУ, 2008.-141с

СИЛЬНОТОЧНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Шаманин В.И.

Научный руководитель: Ремнев Г.Е., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shamanin@tpu.ru

Описана электрическая схема эксперимента и представлена конструкция сильноточного импульсного генератора с выходным напряжением ~ 20 кВ, током ~ 100 кА и длительностью импульса ~ 1 мкс, способным работать на частоте до 10 Гц в непрерывном режиме. Запасаемая энергия в генераторе ~ 600 Дж. Подробное описание конструкции и результаты первых экспериментов представлены в докладе.

1. Введение

Генераторы импульсных напряжений и токов находят все большее применение в современной науке и технике. Их можно использовать для электроразрядных технологий для питания формирующих линий в ускорительной технике, в источниках питания установок нейтронного и рентгеновского излучения[1-3].

Основными требованиями, предъявляемыми к таким генераторам являются: частота повторения импульсов порядка десятков Гц, импеданс не более 30 ~ 50 Ом, ресурс работы всех элементов не менее 10^6 импульсов. В связи с этим, разработке и выбору элементной базы генератора уделяется особое внимание[1].

В данной работе описаны конструкция сильноточного импульсного генератора и результаты проведенных с ним экспериментов в режиме работы короткого замыкания и режиме работы на нагрузку.

2. Конструкция сильноточного импульсного генератора

Конструктивно импульсный сильноточный генератор выполнен в виде двух блоков: высоковольтного модуля и системы электропитания и управления.[4]

Конструкция высоковольтного модуля представлена на рис. 1.

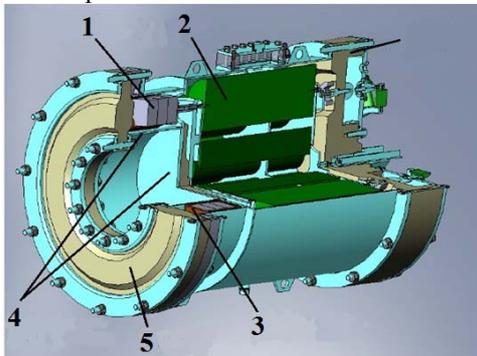


Рисунок 1 - Конструкция сильноточного импульсного генератора: 1 – высоковольтный импульсный трансформатор; 2 – емкостный накопитель; 3 – первичный виток высоковольтного импульсного трансформатора; 4 – вторичный виток высоковольтного импульсного трансформатора; 5 – выходной высоковольтный дисковый изолятор

Емкостный накопитель высоковольтного модуля собран из параллельно соединенных конденсаторов К75-74 двух номиналов (0.1 мкФ – 8 шт., 0.047 мкФ – 4 шт.) с рабочим напряжением 40 кВ. Суммарная емкость накопителя составила 1 мкФ.

Высоковольтный импульсный трансформатор с тороидальным сердечником выполнен понижающим. Первичным витком высоковольтного импульсного трансформатора являются шесть секторных обмоток, радиально расположенных вокруг сердечника. Вторичным витком высоковольтного импульсного трансформатора является часть корпуса. Индуцированное напряжение на вторичном витке трансформатора выводится через выходной высоковольтный дисковый изолятор, и прикладывается к нагрузке. Объем, занимаемый емкостным накопителем и импульсным трансформатором, заполнен трансформаторным маслом.

Многоканальный искровой разрядник размещен в диэлектрическом корпусе из капролона, который ограничивает масляный объем высоковольтного модуля[5]. Разрядник содержит восемь параллельно соединенных искровых промежутков тригatronного типа, равномерно распределенных по окружности. Каждый искровой промежуток образован анодами и крышкой, которая является частью металлического корпуса модуля.

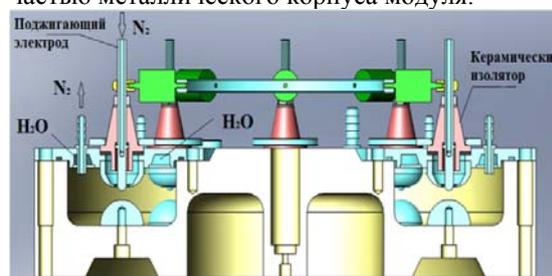


Рисунок 2 - Восьмиканальный разрядник

В крышке размещены поджигающие электроды (рис. 2) из нержавеющей стали. Они изготовлены полыми для продувки газа через каждый канал разрядника. Таким образом, разрядник способен работать в частотном режиме до 10 Гц. Изоляторы (рис. 2) поджигающих электродов выполнены из керамики. Объем многоканального разрядника заполнен техническим азотом по давлению 0.5 МПа.

Система электропитания и управления высоковольтным модулем выполнена отдельным блоком.

3. Результаты первых экспериментов

Были проведены эксперименты в режиме к.з. и в режиме работы с плазменным фокусом.

Режим к.з. был реализован короткими прямыми медными шинами, чтобы обеспечить минималь-

ную индуктивность соединения. Максимальный ток составил 130 кА (рисунок 3) при зарядном напряжении накопителя 40 кВ.

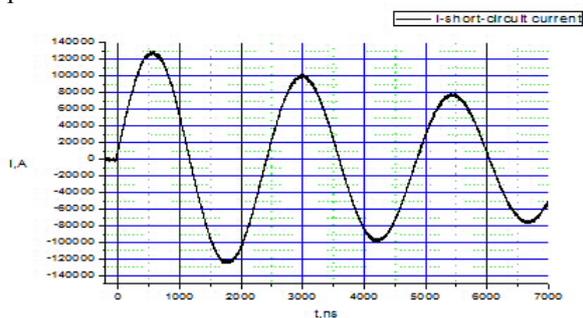


Рисунок 3 - Осциллограммы тока короткого замыкания

Электрическая схема сильноточного импульсного генератора в режиме работы с ПФ представлена на рисунке 4. Емкостной накопитель С заряжается от источника питания через первичный виток импульсного трансформатора РТ при этом происходит размагничивание сердечника РТ зарядным током. В момент когда накопитель С зарядится до максимума на многоканальный коммутатор MS приходит импульс управления заставляя его сработать и емкостной накопитель С разрядиться через многоканальный коммутатор MS на первичную обмотку импульсного трансформатора РТ. Наведенное на вторичной обмотке импульсного трансформатора РТ напряжение прикладывается к плазменному фокусу. Полный ток регистрируется поясом Роговского Rog C.

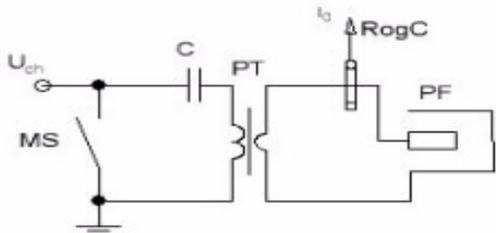


Рисунок 4 - Электрическая схема эксперимента
Эксперименты проводились в одноимпульсном режиме, ток составил ~ 80 кА, длительность импульса ~ 1,4 мкс при напряжении 40кВ. На осциллограмме, представленной на рисунке 5, приведены кривые изменения тока по величине во времени и изменение производной тока. На кривой производной тока видны её скачкообразные изменения, которые соответствуют схлопыванию плазменной оболочки ~ на 650 нс. Именно в этот момент происходит эмиссия нейтронов.

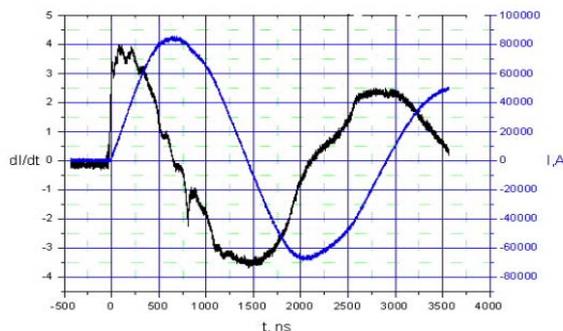


Рисунок 5 - Осциллограммы разрядного тока и его производной, полученные при работе с частотным генератором в режиме одиночного импульса

5. Заключение

Результаты испытания сильноточного импульсного генератора показали его стабильную работу в частотном режиме до 10 Гц с продувкой разрядника как в режиме к.з., так и в работе с плазменным фокусом. В режиме к.з. ток составил ~ 130 кА при длительности ~650 нс. При работе с плазменным фокусом значение тока нагрузки было ~80 кА при длительности ~650 нс. Нестабильность выходных параметров была на уровне 5%. Ресурс разработанного генератора определяется ресурсом конденсаторов накопителя, а это примерно $\geq 10^6$ импульсов. Конструкция генератора и низкий импеданс (~10 Ом) позволили легко согласовать камеру плазменного фокуса с генератором.

В заключении авторы благодарят А.В. Нашилевского, Г.Г. Канаева, В.И. Крауза, В.В. Мялтона, В.П. Виноградова за разработку и изготовление камеры плазменного фокуса, и помощь в проведении экспериментов.

Литература

1. Импульсная энергетика и электроника / Г.А. Месяц – М.: Наука, 2004 – 704 с.
2. K. Takao, Y. Doi, S. Hirata, M. Shiotani, I. Kitamura, T. Takahashi, and K. Masugata, Characteristics of Ion Beams Produced in a Plasma Focus Device, 12th Symposium on High Current Electronics, vol.2, p.219-222, Tomsk, Russia, 24-29 September 2000
3. Г.Е. Ремнев, А.И. Пушкарев и др., Источник импульсных электронных и ионных пучков на основе наносекундного генератора напряжения с согласующим трансформатором // Известия томского политехнического университета, 2006, т.309, №2, с.88-93
4. Г.Г. Канаев, В.Р. Кухта, В.В. Лопатин, А.В. Нашилевский, Г.Е. Ремнев, К. Уемура, Э.Г. Фурман // ПТЭ. 2010, №1, с.105-109
5. Канаев Г.Г., Фурман Э.Г. // ПТЭ. 1987. № 5. С. 95.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВЧ – ГЕНЕРАТОРА ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Шишков И.В., Горешнев М.А.

Научный руководитель: Секисов Ф.Г., к.т.н., с.н.с.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Shish_iv@mail.ru

Сушка древесины является наиболее энергоемкой операцией в технологическом процессе деревообработки. Главной проблемой сушки древесины является равномерность распределения влаги по объёму заготовки. При сушке используются методы нагрева за счет теплопроводности материала (конвективный, кондуктивный) и объемный нагрев заготовки электромагнитными волнами [1]. Наибольшей эффективности сушки позволяют достигнуть комбинации разных методов нагрева. В представленной работе использовался комбинированный метод сушки, включающий в себя кондуктивный способ и ВЧ-нагрев при пониженном давлении.

Целью работы является исследование режима работы ВЧ – генератора, определение вводимой ВЧ-энергии в древесину, определение КПД генератора в зависимости от влажности.

Исследования проводились в камере, с водяным охлаждением, общим объемом 3 м³, объем загрузки 0,9 м³. Сушка проводилась при давлении 10⁴ Па. Опыты проводились на образцах объемно пропитанной березы и березы с естественной влажностью размером 50*150*2900 мм. На первом этапе, при влажности образцов больше 70% использовался только кондуктивный нагрев. Теплоносителем является вода $t = 60 \div 70$ °С, протекающая по электродам. Каждый электрод представляет собой многоколенчатую трубку с приваренными пластинами. При достижении влажности образцов менее 70%, совместно с кондуктивным способом нагрева был использован нагрев с помощью ВЧ – генератора синусоидального тока. Напряжение 2 кВ, мощность до 3 кВт, частота изменяется в зависимости от параметров контура от 50 кГц до 100 кГц. Частота его повышается по мере высыхания образца (рис. 3) в зависимости от условий резонанса.

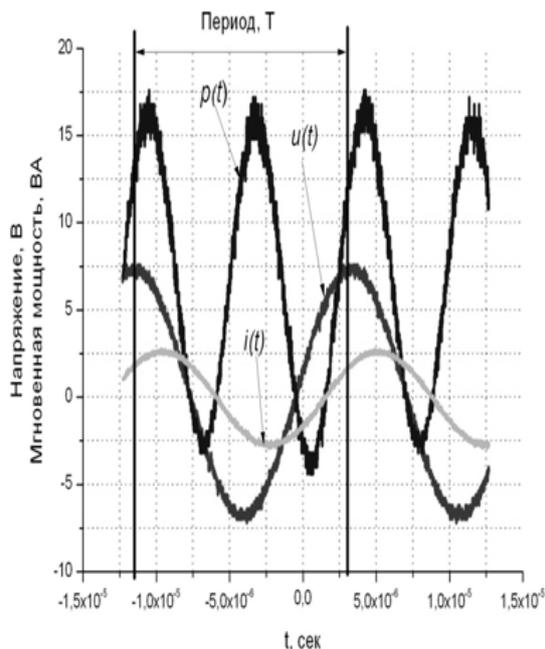
Показания тока и напряжения регистрировались с помощью осциллографа Tektronix TDS2012B. Напряжение измерялось резистивным делителем с коэффициентом деления $K=98$, измерения тока проводились с помощью пояса Роговского с коэффициентом деления $K=1$. Измерение влажности образца в процессе сушки проводилось с помощью 5 датчиков влажности установленных в торце и с боку доски. Датчики устанавливались на глубину 3 см.

Расчет активной мощности производился

по формуле $P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt$, т.е. активная мощность есть среднее значение мгновенной мощности за период T . Показания, снятые с помощью

осциллографа обрабатывались в программе OriginPro 8. По полученным осциллограммам, (рис. 1) была посчитана площадь мгновенной мощности за период T , которая равна $9,27 \cdot 10^{-5}$ ВА/с. С учетом коэффициентов деления

Рис.1 Осциллограмма тока и напряжения для расчета активной мощности.



формула примет следующий вид $P = \frac{98}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt$.

Зная значение частоты $f = 67812$ Гц ($f = 1/T$) и интеграла произведем расчет

$$P = 98 \cdot 67812 \cdot 9,27 \cdot 10^{-5} = 616,045 \text{ Вт.}$$

Реактивная мощность рассчитывалась по формуле

$$|Q| = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{ где } S \text{ – полная мощность, а } P \text{ – активная мощность.}$$

Расчетная реактивная мощность равна 824,215 Вар. Зная активную, реактивную мощность и мощность потребляемую генератором от сети, можно рассчитать КПД генератора

$$\text{по формуле } \eta = \frac{P}{P_{\text{ex}}} \cdot 100\%.$$

Потребляемая мощность рассчитывается из произведения тока, измеряемого встроенным амперметром генератора и выпрямленного напряжения. На рисунке 2 представлены результаты расчета КПД генератора от влажности древесины.

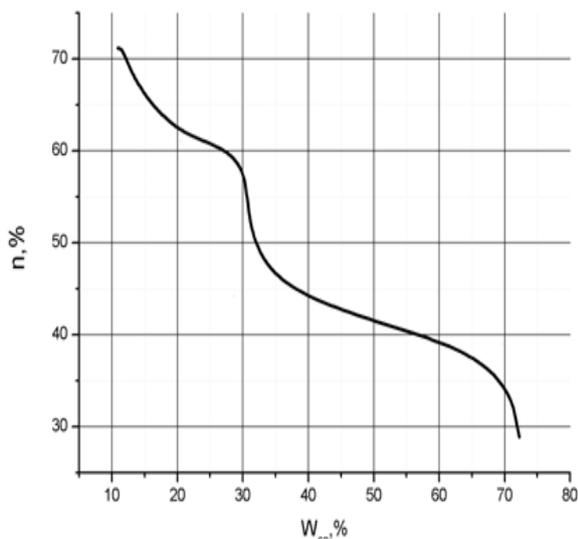


Рис.2 График зависимости КПД генератора от влажности древесины.

Из графика (рис. 2) видно, что значение КПД генератора на стадии нагрева (при влажности более 70%) не велико, это объясняется тем, что электрическое сопротивление сырой древесины слишком мало и генератор работает практически в режиме короткого замыкания. Поэтому, использование нагрева с помощью ВЧ – генератора на этой стадии не рационально. На второй стадии, при влажности ниже 70 %. электрическое сопротивление образца начинает расти, соответственно, появляются условия для нормальной работы генератора. Генератор начинает работать в режиме резонанса.

На третьей стадии, когда в древесине остается только физически связанная влага (менее 30%) использование ВЧ – генератора является наиболее эффективным.

В ходе работы была выявлена зависимость частоты работы генератора от влажности образцов (рис. 3), что позволяет определять влажность дре-

весины при сушке в камере по показаниям осциллографа.

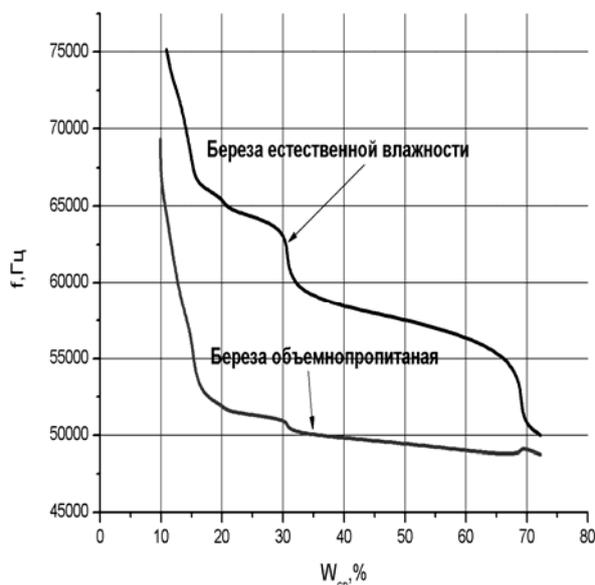


Рис. 3 Графики зависимости частоты от влажности древесины

В результате работы проведена оценка величины резистивных и диэлектрических тепловых потерь при нагреве древесины, определена зависимость КПД генератора от влажности древесины, выявлена зависимость частоты работы генератора от влажности образцов.

Литература:

1. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины.- М.: Лесн. промышленность, 1987.- 328 с.
2. Пыльников Н.А. Сушка древесины. –К.: Будивильник. 1968 - 120 с.
3. Торговников Г.И. Диэлектрические свойства древесины.- М.: Лесн. промышленность, 1986.- 128 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ СИСТЕМНЫХ ВЭУ РЕГУЛЯТОРОМ НЕЧЕТКОГО ТИПА

Манусов В.З., Ядагаев Э.Г.

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский Государственный Технический Университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: yadagaev@mail.ru

Методы управления и регулирования, применяемые в ветроэлектрических установках, определяются назначением, структурой и мощностью комплекса, а также способами преобразования электрической энергии [1].

Цели управления ВЭУ следующие:

- выработка максимальной мощности в условиях непостоянства энергоносителя – ветра;
- ограничение частоты вращения по прочностным соображениям для предотвращения механического разрушения установки [2].

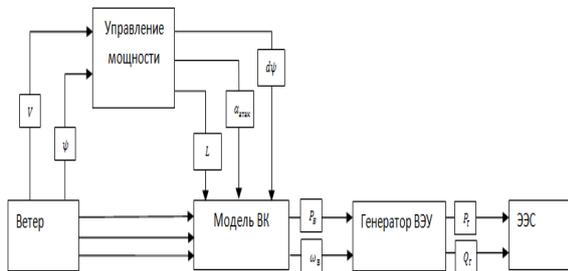


Рис.1. Структурная схема управления мощностью ВЭУ

Перед системой управления стоят следующие задачи:

- обеспечение автоматической работы без участия персонала;
- обработка и прием сигналов и команд, необходимых для функционирования ВЭУ;
- изменение угла атаки лопасти;
- изменение скорости вращения ветроколеса от пуска до полного останова;
- поворот гондолы;
- поддержание работоспособности при заданных эксплуатационных условиях;
- контроль собственных подсистем и оборудования ВЭУ, периодический самоконтроль и диагностика систем и оборудования ВЭУ с определением места неисправности;
- работа в составе ветроэлектростанций (ВЭС);
- стойкость к помехам [3].

В данной статье рассматривается регулирование мощности ВЭУ тремя управляющими воздействиями (рис.1):

- изменение угла атаки лопасти;
- изменение длины лопасти;
- поворот гондолы.

В программе MATLAB Fuzzy Logic создана модель регулятора нечеткого типа.

Модель регулятора на нечеткой логике состоит из следующих блоков: 2 входные переменные, база правил и 3 выходные переменные.

Проектирование нечеткой модели начинается с определения функций принадлежности для нену-

левых термов, лингвистически характеризующих входные и выходные переменные [4]. В качестве входных переменных приняты скорость ветра и угол направления ветра, выходных – угол атаки лопасти, угол поворота гондолы, изменение длины лопасти.

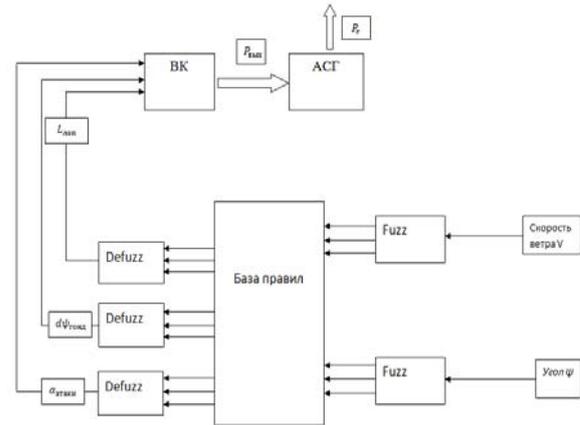


Рис.2. Модель регулятора нечеткого типа

Ниже приведены графики функций принадлежности лингвистических переменных.

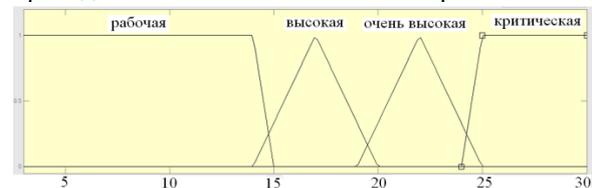


Рис.3. График функций принадлежности переменной «скорость ветра»

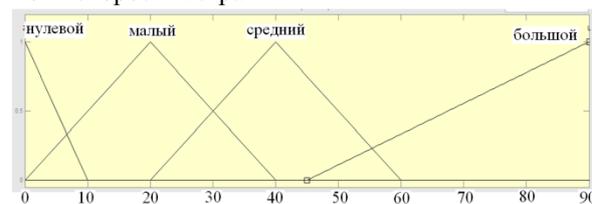


Рис.4. График функции принадлежности переменной «угол между направлением ветра и положением гондолы»

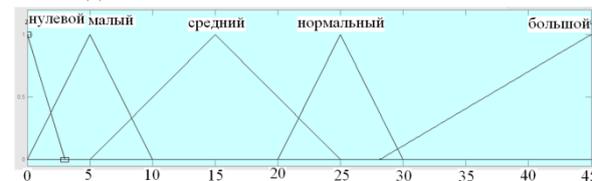


Рис.5. График функции принадлежности переменной «угол атаки лопасти»

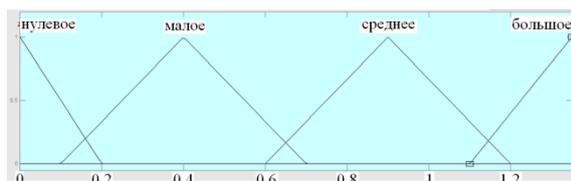


Рис.6. График функции принадлежности переменной «дополнительная длина лопасти»

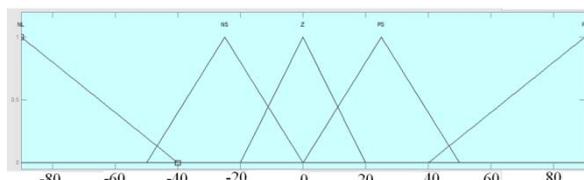


Рис.7. График функции принадлежности переменной «угол поворота гондолы»

База правил состоит из 16 продукционных правил типа «если - то». Результатом составления базы правил является трехмерная поверхность управляющих воздействий, которые приведены на рисунках ниже.

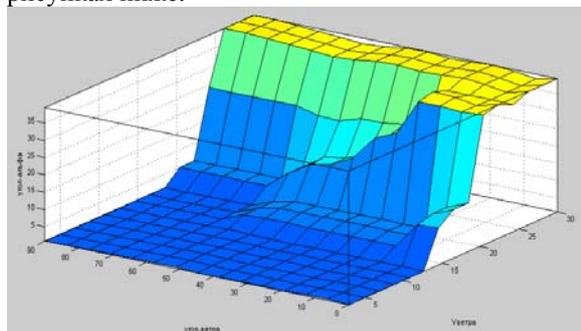


Рис.8. Поверхность правил для угла атаки лопасти

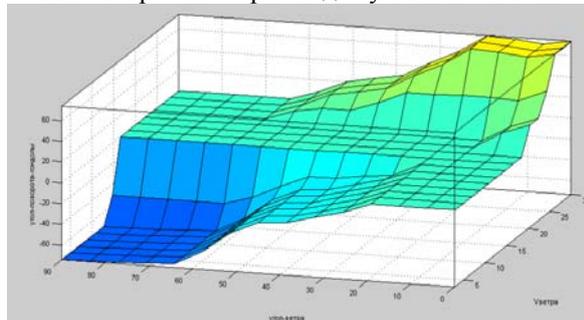


Рис.9. Поверхность правил для поворота гондолы

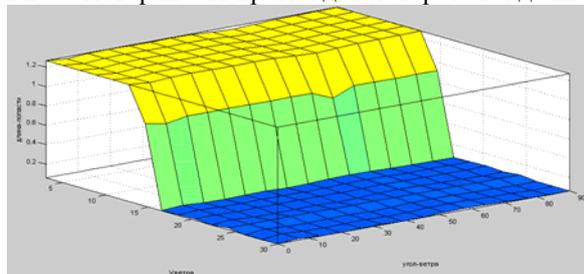


Рис.10. Поверхность правил для изменения длины лопасти

Результат работы регулятора мощности для рабочих скоростей ветра (5-14,5 м/с) представлен в

виде графиков мощности, угла атаки лопасти, длины лопасти, угла гондолы.



Рис.11. График мощности ВЭУ

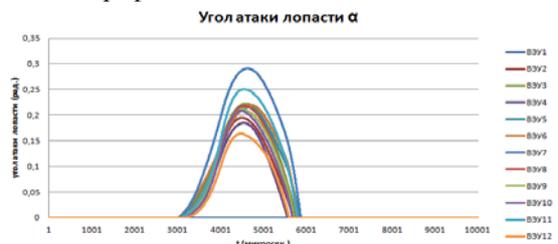


Рис.12. График угла атаки лопасти



Рис.13. График угла ψ

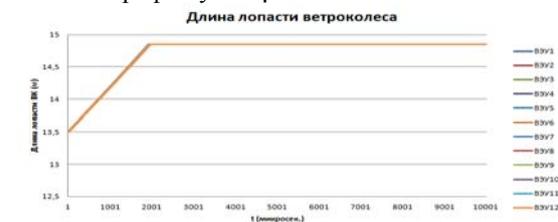


Рис.14. График длины лопасти

Выводы:

- плавное регулирование мощности;
- регулирование мощности производится изменением угла атаки лопасти;
- поворот гондолы запускается при $\psi \geq 15^\circ$, в данной статье рассматривались $\psi \geq 15^\circ$, поэтому поворот не производился;
- длина лопасти максимальна для всех значений рабочего режима ветра.

Список литературы:

1. Фатеев, Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки /Е.М. Фатеев.- М.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1948.–544 с.
2. Андриянов, В.Н. Ветроэлектрические станции / В.Н. Андриянов.-М-Л:Госэнергоиздат,1960.–320 с.
3. Дьяков, А.Ф. Ветроэнергетика России / А.Ф.Дьяков.- М.: Изд-во МЭИ,1996.–220 с., ил.
4. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В.Леоненков.- СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с., ил.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ВЭУ НА ГРАНИЦЕ II И III ЗОН РАБОТЫ

Манусов В.З., Ядагаев Э.Г.

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский Государственный Технический Университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: yadagaev@mail.ru

В данной статье рассматривается функционирование нечеткого регулятора мощности ВЭУ на границе рабочих режимов. Целевой функцией регулирования мощности ВЭУ при скорости ветра в диапазоне 5-14.5 м/с, что соответствует II зоне работы ВЭУ, является выработка максимально возможной мощности. На данных скоростях ветра осуществляется выработка большей части энергии ВЭУ, поэтому способам регулирования отводится значительная роль. ВЭУ работает с постоянной быстроходностью, соответствующей максимуму коэффициента мощности C_p , что означает вращение ветроколеса с переменной скоростью при изменении скорости ветра [1].

Управление ВЭУ заключается в поддержании угла атаки лопасти $\alpha=0^\circ$ к переменному по величине и направлению ветру, угла положения гондолы $\psi=0^\circ$ и максимально возможной длины лопасти $L=14.85$ м с целью выработки максимальной мощности для каждого значения ветра.

Скорость ветра в диапазоне 14.5 – 25 м/с соответствует III зоне работы ВЭУ. При этом система управления на основе данных будет постоянно поддерживать установленную мощность. Как только мощность превысит установленную, система управления подаст команду на запуск контуров регулирования. Если развиваемая мощность уменьшится, система управления перейдет в режим рабочих ветров [2]. При скорости ветра более 14.5 м/с необходимо ограничивать скорость вращения ротора и величину мощности, так как режим номинальной мощности ВЭУ рассчитан на скорость ветра 14.5 м/с. При достижении максимального уровня развиваемой мощности применяется увеличение угла атаки лопасти, поворот гондолы от ветра, уменьшение длины лопасти. Таким образом, достигается поддержание номинальной выходной мощности.

На границе II и III зон происходит переход от режима выработки максимально возможной мощности к режиму ограничения мощности. К регуляторам мощности ВЭУ предъявляются требования плавного перехода между режимами работы для предотвращения перегрузок механической части, неизбежно возникающих при работе в непрерывно меняющемся естественном ветровом потоке. Колебания, присущие скорости ветра, приводят к сверхноминальным перегрузкам даже при скорости ветра, меньше номинальной. В этом режиме необходимо ограничивать скорость вращения ветроколеса с целью предотвращения больших динамических нагрузок. Но необходимость регулирования за короткий промежуток времени (располагаемое время регулирования в сильной степени зависит от действительной картины нарастания скорости ветра) затрудняет решение задачи ограничения вращающего момента ветроколеса [3].

Контурами регулирования мощности являются:
-изменение угла атаки лопасти;

-изменение длины лопасти;
-поворот гондолы.

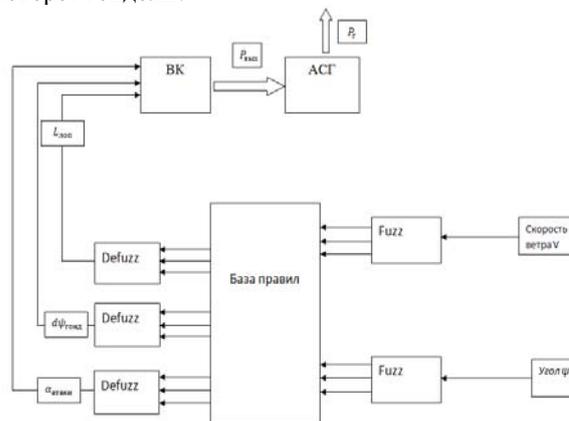


Рис. 1. Модель регулятора нечеткого типа

В программе MATLAB Fuzzy Logic создана модель регулятора нечеткого типа. В качестве входных переменных приняты скорость ветра и угол направления ветра, выходных – угол атаки лопасти, угол поворота гондолы, изменение длины лопасти.

Известно более ста разновидностей нечетких продукционных моделей на основе различных комбинаций компонентов. Причем выбор различных реализаций одного или нескольких компонентов модели зачастую обосновывает и выбор всех остальных. Совокупность отдельных реализаций компонентов модели определяет алгоритм нечеткого вывода. В настоящее время наибольшее распространение получили алгоритмы Мамдани, Ларсена, Цукамото, Такаги-Сугэно. В общем случае дать сравнительную оценку различных алгоритмов нечеткого вывода не представляется возможным, так как не существует универсального во всех отношениях регулятора. Но для решения конкретных задач управления можно говорить о регуляторах, подходящих для этих целей больше других [4].

В данном случае выбор алгоритмов для нечеткого вывода каждой выходной переменной обосновывается исходя из нескольких условий:

- робастность;
- быстродействие;
- плавность-жесткость.

Для изменения угла атаки лопасти достаточно хорошо подходят алгоритмы Ларсена и Цукамото, но последний алгоритм использует четкие выходные величины и требует большего времени. Алгоритм Ларсена обладает достаточной робастностью и быстродействием, поэтому применим для изменения угла атаки лопасти, являющегося первичным регулированием вследствие низкой инерционности приводных механизмов лопасти [5]. Для изменения длины лопасти применен также алгоритм Ларсена, обладающий

«резкостью», соответствующий первичности регулирования данной выходной величиной.

Таблица 1. Сопоставимость алгоритмов нечеткого вывода и регулирующих воздействий

	Мамдани	Ларсен	Цукомото	Такаги-Сугэно
$d\alpha$	-	+	+	-
L	-	+	+	-
$d\psi$	+	-	-	+

В качестве алгоритма для поворота гондолы рассматривались алгоритмы Мамдани и Такаги-Сугэно: первый обладает достаточной робастностью, быстродействием и «плавным» медленным регулированием, что соответствует инерционности приводных механизмов; алгоритм Такаги-Сугэно требует меньше времени, но использует в качестве базы правил выборку, обладает низкой робастностью. С учетом всех свойств алгоритмов, для поворота гондолы выбран алгоритм Мамдани

Результат работы регулятора мощности на границе II и III зон (10-17 м/с) представлен в виде графиков мощности (кВт), угла атаки лопасти, длины лопасти, угла поворота гондолы (рад.).

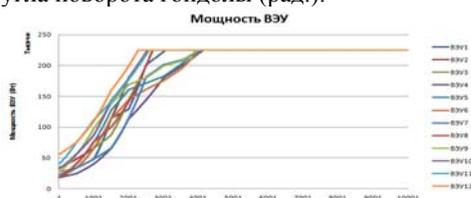


Рис.2. График мощности ВЭУ

ВЭУ достигает и поддерживает номинальную мощность с высокой точностью.



Рис.3. График угла атаки лопасти

База правил выдает значение «немного увеличить» для скорости ветра $V=14.5-20$ м/с, устанавливая углы атаки лопасти 22-28°.



Рис.4. График угла ψ

Поворот гондолы осуществляется при невозможности ограничения мощности только за счет изменения угла атаки лопасти. Как видно на рис.3, контур угла атаки лопасти имеет некоторый ресурс ограничения мощности до 45°, поэтому поворот гондолы не запускается. Первичность контура угла атаки лопасти объясняется быстродействием вследствие малой инерционности приводных механизмов поворота лопасти.

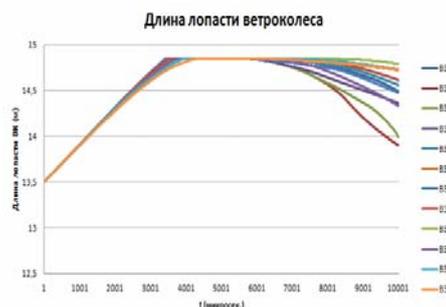


Рис.5. График длины лопасти

Длина лопасти увеличивается до достижения номинальной мощности, далее плавно уменьшается для поддержания номинального значения выходной мощности.

Выводы:

- наблюдается удержание номинальной мощности, достигающееся подбором управляющих воздействий при изменении ветра по скорости и направлению;
- плавное увеличение угла атаки лопасти при переходе из II в III зону работы ВЭУ;
- поворот гондолы на границе зон не применяется;
- длина лопасти на границе зон начинает уменьшаться, так как в режиме ограничения мощности возможны большие механические перенапряжения ВЭУ.

Список литературы:

1. **Дьяков, А.Ф.** Ветроэнергетика России / А.Ф. Дьяков. - М.: Изд-во МЭИ, 1996. – 220 с., ил.
2. **Фатеев, Е.М.** Ветро двигатели и ветроустановки / Е.М.Фатеев. - М.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1948.–544 с.
3. **Адрианов, В.Н.** Ветроэлектрические станции / В.Н. Андриянов. - М-Л: Госэнергоиздат, 1960. – 320 с.
4. **Егупов, Н.Д.** Методы робастного, нейро – нечеткого и адаптивного управления / Н.Д. Егупов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с., ил.
5. **Асаи, К.** Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К.Асаи. - М.: Мир, 1993. – 368 с, ил.

СЕКЦИЯ 2

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Алимбекова С. А

Научный руководитель: Коротков М. М, доцент
Национальный Исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: studentgirl@sibmail.com

Наиболее коварной причиной внезапных разрушений объектов являются внутренние остаточные механические напряжения, возникающие в детали, сварном соединении или конструкции в целом. Эти напряжения в сталях могут достигать предела текучести, а в алюминиевых и титановых сплавах 70-80% предела текучести и часто оказываются более опасными в отношении снижения прочности, чем некоторые типы дефектов. Остаточными напряжениями принято называть такие напряжения, которые существуют и уравниваются внутри твердого тела, жесткого агрегата материалов, сборной или сварной конструкции после устранения причин вызвавших их появление. Эти напряжения всегда внутренние и их образование всегда связано с неоднородными линейными или объемными деформациями в смежных объемах материала, агрегата или конструкции. Остаточные напряжения делят на три рода, классифицируя их по протяженности создаваемого ими силового поля:

- первого рода - уравнивающиеся в макроскопических объемах (в пределах детали или конструкции);
- второго рода - уравнивающиеся в микрообъемах (в пределах кристаллитов структуры металла);
- третьего рода - уравнивающиеся в ультрамикроскопических объемах (в пределах кристаллической решетки). [1]

Такие определения остаточных напряжений впервые в 1935 году дал Давиденков Н.Н.

Вообще, изучение остаточных напряжений началось очень давно. Первые серьезные исследования провели Родман В.И. в 1857 году и затем Умов И.А. в 1871 году. Начало же систематических исследований было положено в 1887 году Калауцким Н.В., который впервые разработал метод расчета остаточных напряжений и впервые предложил экспериментальные методы их измерения. В последующие годы методы исследования остаточных напряжений сводились в основном к развитию методов их измерения - важной практической задаче в проблеме определения надежности конструкций. [2]

При действии внешних сил материал конструкции может находиться в различных механических состояниях. При невысоких уровнях напряжений материал пребывает в упругом состоянии. При значительных напряжениях в материале обнаруживаются заметные остаточные деформации и он переходит в пластическое состояние. Затем, при

дальнейшем увеличении внешних сил происходит образование местных трещин, и наступает его разрушение. Механическое состояние материала в точке зависит в первую очередь от напряженного состояния в ней. С целью определения прочности материалов вводится понятие предельное напряженное состояние. Для пластичного материала предельным обычно считается, напряженное состояние, которое соответствует возникновению заметных остаточных деформаций, а для хрупкого - такое, при котором начинается разрушение материала.

Для выполнения расчетов на прочность вводят понятия коэффициента запаса прочности и эффективное напряжение.

Коэффициент запаса при данном напряженном состоянии это число, показывающее во сколько раз следует одновременно увеличить все компоненты тензора напряжений, чтобы оно стало предельным.

Участившие случаи катастрофических аварий сооружений и конструкций явились причиной повышенного внимания к изучению их физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния.

Свойства материалов, наряду с внутренними приложенными и остаточными напряжениями, определяют целостность и безопасность конструкций, изделий и сварных соединений. Поэтому оценка внутренних напряжений в строящихся и эксплуатируемых конструкциях есть одна из ключевых задач, решение которой позволяет предсказать остаточный ресурс, отладить технологический процесс и избежать разрушения.

Хотя в основе любого метода неразрушающего контроля напряжений лежит существование взаимосвязи между внутренними напряжениями и измеряемым физическим параметром, наличие других влияющих факторов (микроструктуры, остаточной пластической деформации, формы, масштабного фактора, температуры, неоднородности напряженного состояния и др.), которые часто присутствуют совокупно, снижает отношение полезный сигнал/шум, приводя порой к недопустимо большой неопределенности оценки напряжений. Высокая чувствительность к напряжениям является необходимым, но отнюдь не достаточным условием эффективности метода. Фактор селективности (или избирательной чувствительности к напряжениям на фоне неконтролируемого изменения других влияющих факторов) играет не менее важную роль. Напряжение является тензорной вели-

чиной. По определению тензор напряжений в точке характеризуется шестью компонентами: тремя нормальными и тремя касательными. При плоском напряженном состоянии, часто встречающемся на практике, например, в тонких пластинах и оболочках, ненулевыми остаются только три компонента тензора: две нормальные и одна касательная. Возможность оценки независимо всех действующих компонент напряжений или параметра, характеризующего их совокупное действие в ограниченной области образца, является также необходимым условием эффективности применения метода неразрушающего контроля. Известно, что некоторые виды обработки материалов, например, поверхностное упрочнение, приводят к возникновению неоднородного напряженного состояния как по поверхности, так и по глубине. Оптимально, чтобы разрешающая способность метода была бы согласована с характером неоднородности напряженного состояния в материале. Поэтому весьма важными характеристиками метода неразрушающего контроля напряжений являются разрешающая способность и глубина информативного слоя

Для оценки несущей способности конструкций широко используются численные методы анализа и физические неразрушающие методы контроля. В силу близости природы и взаимосвязи упругих характеристик металлов и ультразвуковых волн акустические методы контроля являются весьма эффективными.

Задачи и методы акустического контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) металла.

Вопросам исследования анизотропии проката, остаточных напряжений и НДС деталей, узлов и конструкций уделяется самое серьезное внимание.

Наиболее распространенными информативными параметрами, используемыми при акустических измерениях НДС, являются скорость распространения УЗ колебаний (УЗК), приращение времени распространения УЗК, акустоупругие коэффициенты, соотношения времени распространения продольной и сдвиговой волн в исследуемом объекте.

При акустических измерениях используются объемные продольные и сдвиговые УЗ волны различной поляризации, поверхностные – рэлеевские и головные волны, нормальные – волны Лэмба и SH-волны.[3]

Для измерения времени или скорости распространения УЗК применяются пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) и электромагнитно-акустические (ЭМА) преобразователи (ЭМАП).

Достоинством ПЭП является высокий коэффициент электроакустического преобразования, к недостаткам следует отнести сложность излучения и приема сдвиговых УЗ волн по нормали к поверхности материала, влияние акустического контакта на результаты измерений и ограничения по температурному диапазону объекта исследований. ЭМАП обеспечивают бесконтактное возбуждение продольных и сдвиговых волн с различной поляризацией, но с существенно меньшим, чем у ПЭП коэффициентом преобразования.

При эхо-импульсных методах контроля НДС разъемных соединений измеряют время распространения УЗ импульса, прошедшего вдоль контролируемого болта или шпильки, в ненапряженном и напряженном состояниях.

Важным преимуществом УЗ метода перед другими является активный характер процедуры контроля, что позволяет не только количественно оценить, как затянута каждая резьбовая пара, но также дает оперативную информацию о том, что следует изменить для приближения усилия затяжки к оптимальному значению.

Однако при практической реализации акустического тензометрирования возникает ряд трудностей, обусловленных малостью используемых акустических эффектов, сложностью характера НДС, влиянием внешних факторов. Параметры существующих ПЭП и ЭМАП и используемой аппаратуры не обеспечивают требований высокой точности и надежности акустических измерений, отсутствуют портативные приборы для проведения контроля НДС в цеховых и полевых условиях, соответствующие методики контроля и метрологическое обеспечение. Это сдерживает широкое использование акустических методов контроля механических напряжений в производственных условиях.

Список литературы:

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В 2 – х томах. Том 2./ Под ред. В.В. Ключева, – М.: Машиностроение, 1986 г. – 352 с.
2. Капранов Б.И., Коротков М.М., Короткова И.А. Акустический контроль. Учебное пособие. Томск – 2004. – 119 с.
3. Неразрушающий контроль. В 5 –ти томах. Том 2. Акустические методы контроля: практическое пособие./ Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высшая школа, 1991 г. – 283 с.
4. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. Киев, 1986 г. – 115с.

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Анисимова А.Г.

Научный руководитель: Никитин В.Д., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: en0tik2@yahoo.com

Светодиоды (СД) в настоящее время производятся в промышленных масштабах для самых разных применений, включая светотехнику. СД эффективны, имеют малые размеры и длительный срок службы. У них большая световая отдача, низкие значения напряжения питания и потребляемые токи, низкое энергопотребление. Одним словом, очень перспективный источник света. Существенный недостаток - это цена СД.

Для оценки экономических показателей воспользуемся формулой стоимости единицы световой энергии (ЕСЭ). В таблице представлены расчеты продукции 14 производителей ([1]-[4]).

Расчет стоимости ЕСЭ, RuR/Mlm·h, выполняется по формуле:

$$G = [q \cdot \eta_v^{-1} + C_{ис} \cdot (\Phi \cdot \tau)^{-1}] \cdot 10^3,$$

где $q=2,0$ – тариф на электроэнергию [р./кВт·ч], η_v – световая отдача ИС [лм/Вт], $C_{ис}$ – стоимость ИС [р.], Φ – поток ИС [кЛм], τ – срок службы ИС [ч.]

№	Светодиодные ИС	P, W	Φ , klm	η_v , lm/W	$C_{ис}$, RuR	τ , th.h	G, ruR/M lm·h	g, RuR/l m
1	SLD26TPG13AL6006,5W1000Lm [1]	6	0,8	133	1132	35	55,47	1,42
2	SLD92LOE40D50W4500LmIP45 [1]	50	4,5	90	4500	35	50,79	1,00
9	УНИПРО 6 [2]	8	0,95	118	1420	50	46,84	1,49
10	УНИПРО 120 [2]	17	1,75	103	2550	50	48,56	1,46
14	LED-E27-4.5W [3]	4.5	0,24	53	377	40	77,01	1,57
15	LED-GU53-4.0W-01W [3]	4	0,21	52,5	377	40	82,98	1,80
21	GL-BR40 [4]	17.2	0,8	46,91	3320	30	179,76	4,11
22	G0101 [4]	15	0,96	64	1800	30	93,75	1,88
23	G4-B 21LED [5]	1.1	0,043	39	310	50	195,35	7,21
24	HR20-H 94LED E27 [5]	4.7	0,35	74,5	950	50	81,14	2,71
29	LED PAR16 E14 [6]	1	0,08	80	384	12	425,00	4,80
30	LED GU10 [6]	1	0,04	40	384	12	850,00	9,60
33	PARATHOM DECO CLASSIC B FR WW [7]	2	0,05	25	382	10	844,00	7,64
34	PARATHOM DECO R50 40 YE [7]	5	0,4	80	1352	15	250,33	3,38
41	16WE27 WW 230V PAR38 OD 1CT [8]	16	0,6	37,5	4124	22	365,76	6,87
42	4—20W GU5.3 WH 12V 24D [8]	4	0,45	112,5	1190	25	123,56	2,64
45	OD 1.5W E27 CC 230—240V [9]	1.5	0,04	8,9	417	25	642,00	10,43
46	OD 1W E27 RE 230—240V [9]	1	0,025	25	318	20	716,00	12,72
47	2WE14 WW 230—240VB35 CL 1PP [10]	2	0,04	20	765	20	1056,2	19,13
48	2W E14 2700K 230V P45 FR [10]	2	0,037	18,5	765	15	1486,5	20,68
50	16W 2700K 230V PAR38 OD [11]	16	0,6	37,5	4200	22	371,52	7,00
51	MV 7W 4200K 230V NR63 25D [11]	7	0,23	32,8	2556	45	307,83	11,11
55	GLS A60 Pearl Warm White 6W 100-250 [12]	6	0,25	41,7	1700	15	501,33	6,80
56	Bent Tip Candle Satin Homelight 2,5W [12]	2.5	0,13	52	603	15	347,69	4,64
58	MR16 E27 4W 100-240V [13]	4	0,19	47,5	2233	50	277,16	11,75
59	MR16 GU10 4W 100-240V 5300K [13]	4	0,24	60	2277	50	223,08	9,49
63	KALU 3.5W SMD LED Kerze E14 [14]	3.5	0,25	71,43	1330	50	134,40	5,32
64	30 SMD LED Kerze K14-30S1-508 [14]	1.5	0,12	80	635	50	130,83	5,29

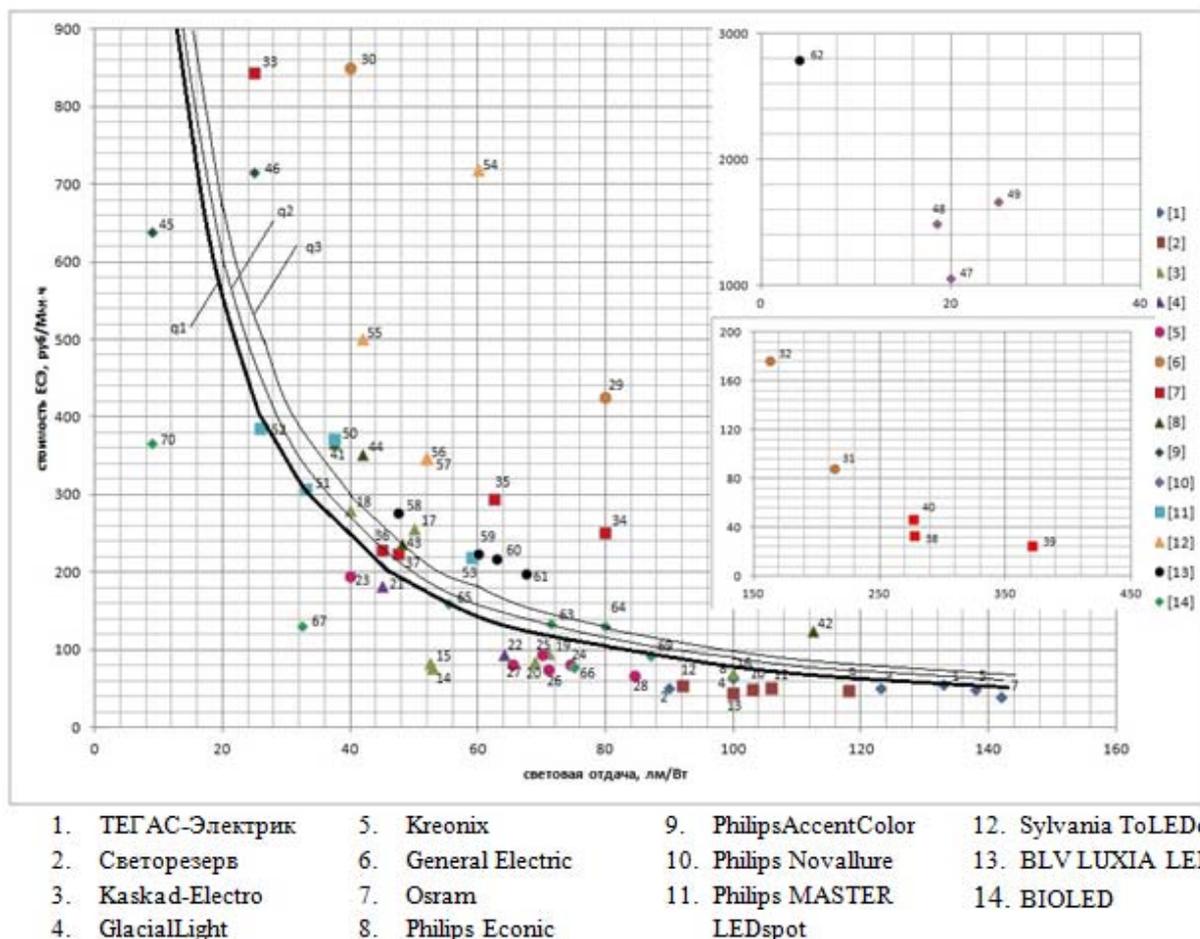


Рис. Зависимость стоимость ЕСЭ от световой отдачи. ($q = 2 - 3 - 4 \text{ руб/кВт·ч}$)

Результаты расчета представлены на рисунке, в легенде указаны производители. На рисунке имеются 2 врезки, для СД характеристики которых резко отличаются от основной массы. Представлены линии усредненных зависимостей $G=G(\eta_v)$, аппроксимируемых формулами

$$G = (2 \cdot \eta^{-1} + 18,2) \cdot 10^3.$$

Выводы:

1. Выполнены расчеты стоимости ЕСЭ для 70 светодиодных ламп.
2. Значения стоимости ЕСЭ для СД наиболее популярных производителей (при условии $\eta = \text{const}$) сильно разнятся, в некоторых случаях – на порядки.
3. Предложено уравнение зависимости стоимости ЕСЭ от η на основе усреднения данных по потоку, сроку службы и цене.

Литература:

1. Прайс-лист «ТЕГАС-Электрик» [Электронный ресурс]. – режим доступа: www.ekolamp.ru
2. Прайс-лист «Топ-Свет» [Электронный ресурс]. – режим доступа: www.top-svet.ru (фирмы Светорезерв, GlacialLight, Креонix, BLV LUXIA LED, BIOLED)
3. Прайс-лист «Kaskad-Electro» [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.kaskad-electro.ru>
4. Прайс-лист «Лампы светодиодные» [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://led-lampy.ru> (фирмы General Electric, Osram, Philips Eonic, Philips AccentColor, Philips Novallure, Philips MASTER LEDspot, Sylvania ToLEDo)

ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Анисимов Д.И.

Научный руководитель: Патюков В.Г., д.т.н., профессор
 Железногорский филиал СФУ, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова 12а
 E-mail: denanis@inbox.ru

В теории связи, навигации, радио и гидролокации, в системах синхронизации и управления и при решении многих других задач требуется получать и использовать оценки частотно-временных параметров и, следовательно, измерять частоту, период или фазу исследуемых сигналов. При этом точность и помехоустойчивость работы всей системы зависит от эффективности используемых алгоритмов при обработке сигналов и достигаемой минимизации погрешностей оценок частотно-временных параметров. Теоретически потенциальными являются оценки, полученные на основе метода максимума функции правдоподобия, но их реализация приводит к сложным корреляционным и многоканальным устройствам. Поэтому на практике широкое распространение получили устройства, использующие упрощённые алгоритмы работы, повышение эффективности которых и составляет основной предмет исследования. Наиболее часто оценки частотно-временных параметров сигналов на практике реализуют цифровыми устройствами, которые обеспечивают фильтрацию исследуемого сигнала и формируют среднеинтегральную оценку результата усреднения. Повышение точности и помехоустойчивости таких устройств, при различных условиях работы, является важной задачей исследований [1, 2].

Фильтрацию сигналов при оценке частотно-временных параметров рассмотрим на примере широко распространённой модели, представляющей собой аддитивную смесь гармонического сигнала и случайного узкополосного процесса:

$$x(t) = s(t) + \xi(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) +$$

$$A(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)] = U(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] =$$

$$U(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = U(t) \cos \phi(t)$$

где U_m , ω_0 и φ_0 – амплитуда, угловая частота и начальная фаза сигнала $s(t)$; $A(t)$ и $\theta(t)$ – огибающая и фаза случайного процесса $\xi(t)$; $U(t)$, $\varphi(t)$ и $\phi(t)$ – огибающая, случайная фаза и полная фаза аддитивной смеси. Одним из основных параметров, оценку среднего значения, которого необходимо найти, является мгновенная частота, связанная с полной фазой известным соотношением

$$\omega(t) = d\phi(t) / dt = \omega_0 + \nu(t),$$

где $\nu(t) = \dot{\varphi}(t)$ – случайная частота, определяемая через производную фазы исследуемой аддитивной смеси и характеризующая скорость её изменения. Случайная частота исследуемого сигнала, определяет шумовую составляющую суммарной погрешности оценки среднего значения мгновенной частоты, а характер изменения её спектрально-

корреляционных характеристик существенно влияет на дисперсию результата усреднения. При нахождении оценок среднего значения мгновенной частоты, последние зависят как от быстротечности изменения параметров исследуемой аддитивной смеси, так и от характеристик обрабатывающего фильтра. Быстротечность протекания процесса во временной области характеризуется корреляционной функцией, а основной характеристикой обрабатывающего фильтра (усредняющего устройства) является импульсная характеристика или её преобразование Фурье. В классе линейных оценок частотно-временных параметров сигналов при обработке случайного процесса $\omega(t)$ и усреднении на временном интервале T , воспользуемся классической операцией вычисления среднего значения:

$$M[\omega(t)] = \int_{-T/2}^{T/2} \omega(t-\tau)g(\tau)d\tau$$

где $M[\omega(t)]$ – знак математического ожидания, а $g(t)$ – импульсная характеристика обрабатывающего фильтра, удовлетворяющая условию несмещённости оценки [5]:

$$\int_{-T/2}^{T/2} g(t)dt = 1$$

Частота – определяется как число идентичных событий (например периодов) в единицу времени, т. е. это величина, обратная периоду $f=1/T$.

Принцип действия цифрового частотомера основан на определении частоты, рассмотренном в [3, 4] и приведён на рис. 1.

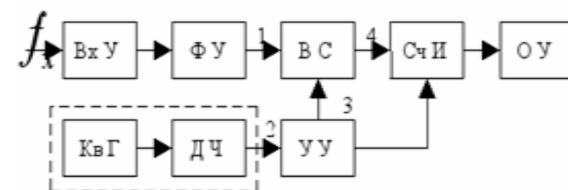


Рис. 1. Вариант структурной схемы, реализующий принцип действия цифрового частотомера
 Временные диаграммы, поясняющие её работу, представлены на рис. 2.

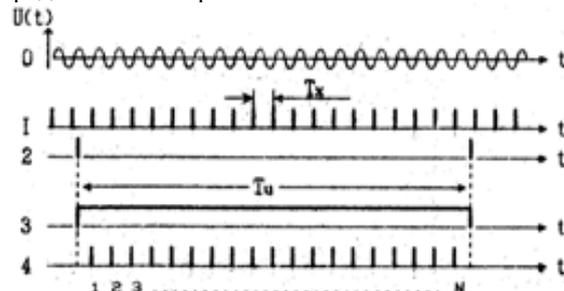


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу измерителя

Амплитудно-частотные характеристики усредняющего устройства имеют формулу:

$$K(\alpha, \delta) = \sin c[\delta(1+\alpha)] \sin c[\delta(1-\alpha)] \quad (1)$$

где $\delta = \Omega T/4$; $\sin c(\cdot)$ – функция вида $\sin(x)/x$, а $\alpha = 0 \div 1$ – параметр, позволяющий изменять вид $g(t)$, и, например при $\alpha=1$ получить среднеинтегральную оценку в усредняющем устройстве с импульсной характеристикой, равной $g(t)=1/T$. Общие выводы об эффективности такой обработки можно получить из графика модуля поверхности $K(\alpha, \delta)$ представленной на рис. 3.

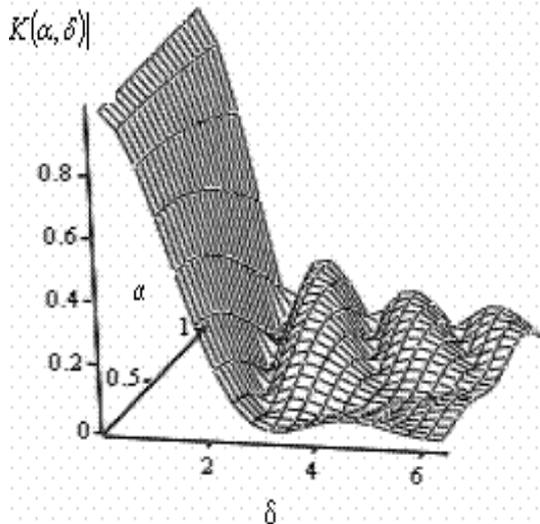


Рис. 3. Фрагмент поверхности модуля амплитудно-частотной характеристики усредняющего устройства с весовой обработкой

Простейшей классической весовой обработкой результатов оценки частотно-временных параметров является оценка с равными весами [6]. Другие весовые функции рассмотрены в [6, 7].

Анализируя поведение поверхности на частотно-временной плоскости, можно отметить, что вид сечений поверхности, выполненных параллельно нормированной оси δ при различных фиксированных значениях параметра α , представляют собой графики модулей амплитудно-частотных характеристик различных фильтров, зависящих как от вида импульсной характеристики усредняющего устройства (параметра α), так и от времени усреднения T (увеличение которого позволяет уменьшить флуктуации оценки математического ожидания случайного процесса до необходимого уровня). Кроме того, появляется дополнительная воз-

можность изменять частичный объём, ограниченный поверхностью центрального пика функции $|K(\alpha, \delta)|$ при постоянном T . Эта функция, в соответствии с (1), непосредственно влияет на величину дисперсии оценки среднего значения мгновенной частоты.

В зависимости от δ уровень пиков боковых лепестков функции $|K(\alpha, \delta)|$ изменяется от минус 14 дБ при $\alpha=1$ до минус 27 дБ при $\alpha=0$. Одновременно с уменьшением уровня пиков боковых лепестков наблюдается расширение центрального лепестка. Значение поверхности при $\Omega=0$ равно $K(\Omega=0)=1$. Этот результат получается из условия нормировки, если выполнить преобразование:

$$\int_{-\omega}^{\omega} q(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega}^{\omega} \int_{-\omega}^{\omega} K(j\Omega) \exp(j\Omega t) d\Omega dt = \int_{-\omega}^{\omega} K(j\Omega) \delta(\Omega) d\Omega$$

где $\delta(\Omega)$ – дельта-функция в частотной области.

В ходе работы были исследованы измерители частотно-временных параметров сигналов с повышенной точностью, что позволяет разработывать высокоточные и помехоустойчивые измерители частотно-временных параметров сигналов [7].

Список литературы

1. Куликов, Е.И., Трифонов, А.П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. – М.: Сов. радио, 1978. – 296 с.
2. Тихонов, В.И. Оптимальный приём сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Ермолов, Р.С. Цифровые частотомеры. – Л.: Энергия, 1973. – 152 с.
4. Аппаратура для частотных и временных измерений / Под ред. А.П. Горшкова. – М.: Сов. радио, 1971. – 336 с.
5. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 510 с.
6. Гутников, В.С. Фильтрация измерительных сигналов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
7. Патюков, В.Г. Фильтрация флуктуаций при измерении частотно-временных параметров сигналов / Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий / Материалы Международной конференции, Российской научной школы и Российского научного симпозиума. – М.: Радио и связь, 2002. – Ч. 4. – С. 133–136

ОБУЧАЕМАЯ СТРУКТУРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОДА В ЧАСТОТУ НЕПРЕРЫВНОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Антоненко А.В.

Научный руководитель: Локтюхин В.Н., д-р техн. наук, профессор
Рязанский государственный радиотехнический университет

E-mail: dervy@mail.ru

При построении периферических систем управления и контроля часто возникает задача управления объектом с нелинейной характеристикой управления. В этом случае целесообразно использовать аппроксимирующий преобразователь цифрового кода x^* в аналоговый сигнал y с обучаемой структурой [1], например «код - частота».

При построении преобразователей формы информации с использованием нейросетевых технологий (ИНС-преобразователей) приняты [1] три уровня описания, которые соответствуют уровням абстрагирования модели устройства в зависимости от вида представления его структуры на том или ином уровне:

1. Метауровень – на основе операций математических (формальных) нейронов и оперирования переменными, принятыми для данного вида нейронов (математический уровень).

2. Макроуровень – на основе операций нейрон-преобразователей (крупнозернистый уровень описания) с применением основных структурных единиц данных в виде кодов (слов) и потоков единичных битов.

3. Микроуровень – на основе типичных нейросетевых операций (мелкозернистый уровень) над битами слов и потоками единичных импульсов.

Второй уровень описания ориентирован на аппаратную реализацию синтезируемой структуры устройства на базе типовых операционных узлов ВТ, а третий – на основе логических (булевых) элементов.

В связи с тем, что построение математической модели ИНС-преобразователя нацелено на аппаратную реализацию, то при его описании возможно использование нестандартных видов нейронов (паде-нейронов, нейронов с квадратичным сумматором и др. [2]), а также модифицированных активационных функций с целью уменьшения аппаратных затрат на реализацию проектируемого устройства.

Прежде чем приступить к этапам процедуры структурного синтеза преобразователя, при выполнении которых оперируют с физическими переменными, целесообразно показать типичную форму представления структуры преобразователя в виде некоторой аналого-цифровой нейросети. Например, с учетом полученной ранее [1] структуры ИНС-преобразователя «код - частота» $N \rightarrow F$ (рис. 1), его структурная модель в базисе нейросетевых операций запишется в виде выражения:

$$f_y = F_{НП_1}^{(2)} \left(\sum_{j=1}^M \left(N_{w_{НП_{j,1}}^{(2)}} \cdot F_{НП_j}^{(1)} \left(f_0 \cdot N_x^* + N_{w_{НП_{2,j}}^{(1)}} \cdot f_0 \right) \right) \right),$$

где $N_{w_{НП_{j,1}}^{(2)}}$ – весовые коэффициенты нейрона-преобразователя $НП_1^{(2)}$ 2-го выходного слоя сети, представленные в виде позиционного кода, $j = \overline{[1, M]}$; M – количество нейронов в первом слое; $F_{НП_j}^{(1)}$ – функция активации j -го нейрона-преобразователя $НП_j^{(1)}$ первого слоя; $F_{НП_1}^{(2)}$ – активационная функция нейрона-преобразователя $НП_1^{(2)}$ выходного слоя сети (выбор вида функций активации производится далее на следующем этапе); $N_{w_{НП_{2,j}}^{(1)}}$ – весовые коэффициенты нейронов-преобразователей $НП_j^{(1)}$ первого слоя, $j = \overline{[1, M]}$, представленные позиционным кодом; N_x^* – входной преобразуемый k -разрядный позиционный код ($N_x^* \equiv x^*$); f_y – частота как результат преобразования; f_0 – опорная частота (эталон преобразования).

Под *нейронами-преобразователями* (НП) понимаются математические нейроны с гибридной формой представления информации и возможностью ее преобразования НП с совмещением выполнения нейросетевых операций [1].

Память аналого-цифровой сети для рассматриваемого варианта структуры целесообразно разбить по слоям преобразователя (рис. 1). При этом память i -го слоя ($i = 1, 2$) сети формирует:

– наборы значений w обучаемых весовых коэффициентов синаптических связей нейронов-преобразователей слоя, которые обеспечивают аппроксимирующие возможности сети и согласование форм представления информации между слоями;

– наборы параметров активационных функций нейронов-преобразователей слоя в требуемых формах их представления.

Так, память сети преобразователя (рис. 1), состоящего из двух слоев нейронов, представляются матрицами обучаемых параметров

$$W_{НП}^{(2)T} = \begin{bmatrix} N_{w_{НП_{1,1}}^{(2)}} & N_{w_{НП_{2,1}}^{(2)}} & \dots & N_{w_{НП_{j,1}}^{(2)}} & \dots & N_{w_{НП_{M,1}}^{(2)}} \end{bmatrix}, (1)$$

$$W_{НП}^{(1)T} = \begin{bmatrix} N_{w_{НП_{1,1}}^{(1)}} & N_{w_{НП_{1,2}}^{(1)}} & \dots & N_{w_{НП_{1,j}}^{(1)}} & \dots & N_{w_{НП_{1,M}}^{(1)}} \\ N_{w_{НП_{2,1}}^{(1)}} & N_{w_{НП_{2,2}}^{(1)}} & \dots & N_{w_{НП_{2,j}}^{(1)}} & \dots & N_{w_{НП_{2,M}}^{(1)}} \end{bmatrix}, (2)$$

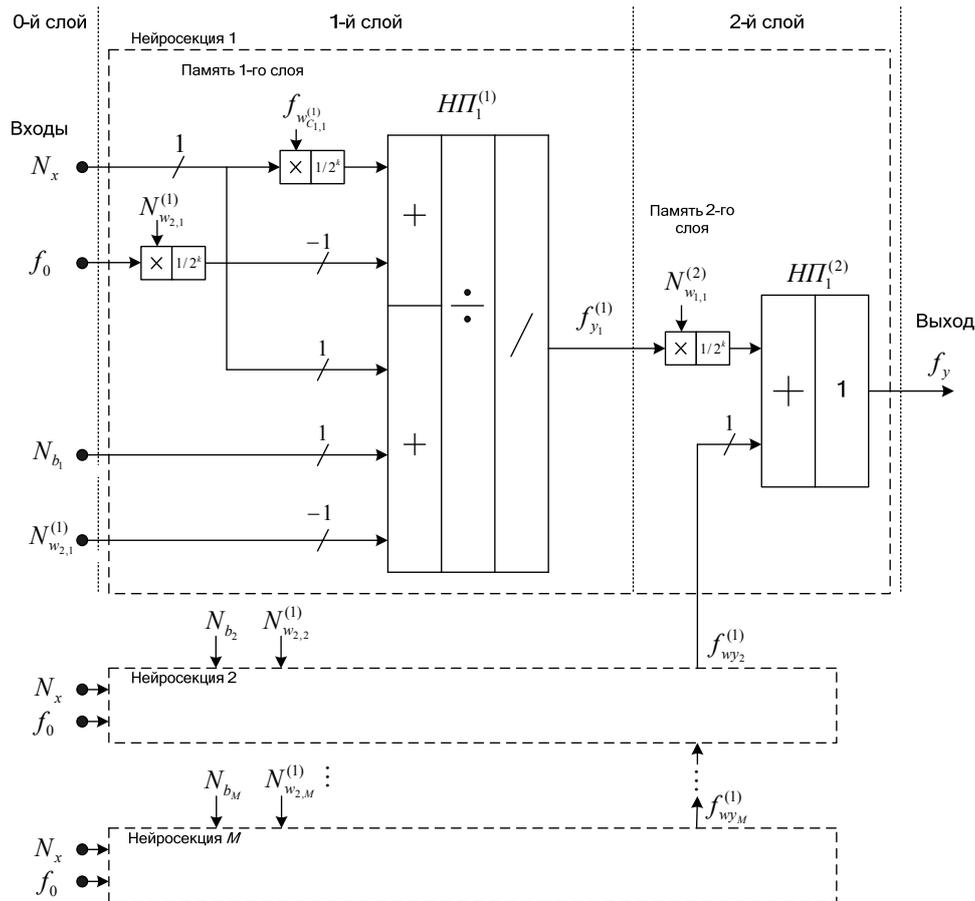


Рисунок 1 – Обучаемая структура преобразователя «код - частота» непрерывного принципа действия

$$B^T = \begin{vmatrix} N_{b_1} & N_{b_2} & \dots & N_{b_j} & \dots & N_{b_M} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

заданных позиционными кодами, и матрицей значений согласующих весовых коэффициентов синнаптических связей

$$W_C^{(1)T} = \begin{vmatrix} f_{w_{c1,1}}^{(1)} & f_{w_{c1,2}}^{(1)} & \dots & f_{w_{c1,j}}^{(1)} & \dots & f_{w_{c1,M}}^{(1)} \\ -1 & -1 & \dots & -1 & \dots & -1 \end{vmatrix}.$$

Использование данных форм задания коэффициентов позволяет согласовать формы представления информации между нейроэлементами слоев, изначально описываемых с использованием математических переменных и соответствующих выражений. Применение в структуре преобразователя (см. рис. 1) паде-нейрона является одной из удобных исходных форм интерпретации (описания) схемы НП с «упрощенной» сигмоидой [1] при его синтезе и последующей аппаратной реализации. «Упрощенная» сигмоида как активационная функция j -го нейрона 1-го (скрытого) слоя исходной сети реализуется паде-нейроном $HП_j^{(1)}$ «код - частота» в составе j -й нейросекции ИНС-преобразователя представленного на рис. 1. Выходной нейрон-преобразователь $HП_1^{(2)}$

j -й нейросекции (см. рис. 1) осуществляет операцию суммирования частот $f_{wy_j}^{(1)}$, которая реализуется посредством сумматора частот [1].

Полученная структура преобразователя «код - частота» непрерывного принципа действия характеризуется способностью к перенастройке функции преобразования путем изменения значений параметров (1) – (2) аналого-цифровой сети нейронов-преобразователей. Это позволяет оперативно реконфигурировать характеристику управления объектом при изменении внешних условий его эксплуатации. Обучение преобразователя может производиться с помощью алгоритма обратного распространения ошибки.

Библиографический список:

1. Локтюхин В.Н., Челебаев С.В., Антоненко А.В. Нейросетевые аналого-цифровые преобразователи // под общей редакцией А.И. Галушкина. М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 128 с.
2. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 400 с.

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СТРУКТУР ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Бабкина Е.И.

Научный руководитель: Олешко В.И., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: oleshko@tpu.ru

Введение

Технология эпитаксиального выращивания светодиодных структур требует контроля отдельных технологических операций ростового процесса и оценки влияния дефектов собственной и примесной природы, образующихся в эпитаксиальных слоях на оптические свойства светодиодных структур. При исследовании люминесценции светодиодных структур, толщиной 10 – 100 нм, обычно используют возбуждение фотонами с энергией кванта превышающей ширину запрещенной зоны эпитаксиальных слоев [1-3]. В отдельных экспериментах измеряют катодолуминесценцию, возбуждаемую низкоэнергетическим электронным пучком [4]. Возможность применения для этой цели сильноточных электронных пучков (СЭП) не очевидна, т.к. основная доля энергии электронного пучка (~ 95%) выделяется в сапфировой подложке.

Целью работы является выяснение возможности применения высокоэнергетических СЭП для люминесцентной диагностики тонкопленочных светодиодных структур GaN/InGaN, нанесенных на сапфировые подложки.

Методика эксперимента

Возбуждение люминесценции осуществлялось электронным пучком со стороны гетероструктуры. Эффективная энергия электронов в спектре СЭП ~ 250 кэВ, длительность импульса тока ~ 10 нс. Плотность энергии электронного пучка варьировалась от 0,004 до 0,26 Дж/см². Использовалась геометрия возбуждения и регистрации люминесценции ($\alpha=45^\circ$). Изображение образца проецировалось с помощью линзы на входную щель монохроматора МДР-23. Оптический сигнал поступал на ФЭУ-84 и регистрировался запоминающим осциллографом TDS 2014 (методика измерений - спектр по точкам). В работе исследованы три гетероструктуры GaN/InGaN (ГС₁, ГС₂ и ГС₃). Образцы в виде пленок толщиной 0,01-5 мкм были выращены в различных лабораториях методом молекулярно лучевой эпитаксии на подложках Al₂O₃. Толщина сапфировой подложки составляла 430 мкм, промежуточного слоя GaN – 5 мкм и гетероструктуры, состоящей из 10 слоев ~1 мкм.

Результаты эксперимента и обсуждение

На рис. 1 представлены спектры импульсной катодолуминесценции (ИКЛ) образца ГС₁ измеренные в различные моменты времени относительно импульса возбуждения при 300 К.

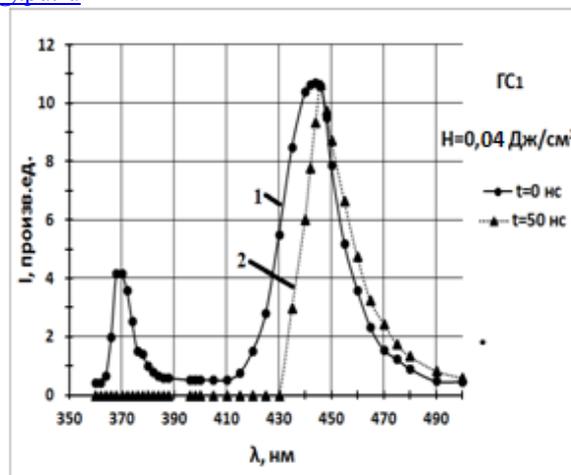


Рис. 1. Спектры ИКЛ образца ГС₁ измеренные через t = 0 и 50 нс после импульса возбуждения электронным пучком (H = 0,04 Дж/см²)

Видно, что в момент импульса возбуждения в спектре ИКЛ (рис. 1, кр.1) наблюдается две полосы, первая с максимумом при $\lambda_m = 368-370$ нм и полушириной $\Delta\lambda \sim 8$ нм, вторая - с максимумом при $\lambda_m = 445$ нм и полушириной $\Delta\lambda \sim 40$ нм. Согласно литературным данным [1,2] первая полоса люминесценции принадлежит GaN, вторая связана с люминесценцией квантовых ям (слои InGaN). Через 50 нс в спектре свечения образца ГС₁ остается одна полоса свечения (рис.1, кр. 2), максимум которой сдвигается со временем в длинноволновую область спектра. Спектрально-кинетические характеристики полосы $\lambda_m = 445$ нм можно объяснить с помощью донорно-акцепторной модели центров люминесценции в InGaN. Из-за кулоновского притяжения, противоположно заряженные доноры и акцепторы (которыми могут быть как примеси, так и дефекты решетки) стремятся занять близлежащие узлы решетки. Волновые функции локализованных носителей перекрываются, давая вероятность непосредственного излучательного перехода

электрона с донора на место дырки акцептора. Спектральные и кинетические свойства ДАП с разными расстояниями существенно отличаются. С изменением расстояния меняются вероятность излучательной рекомбинации, эффективное сечение захвата, энергия активации и общее число ДАП. Эти изменения и приводят к изменению спектра излучения во времени. Изучено влияние плотности энергии электронного пучка H на форму полосы люминесценции $\lambda_m = 445$ нм. Обнаружено, что при достижении H порогового значения (H = 0,06 Дж/см²) в образце ГС₁ наблюдается су-

перлюминесценция, которая сопровождается сверхлинейным ростом интенсивности полосы 447 нм (рис.2).

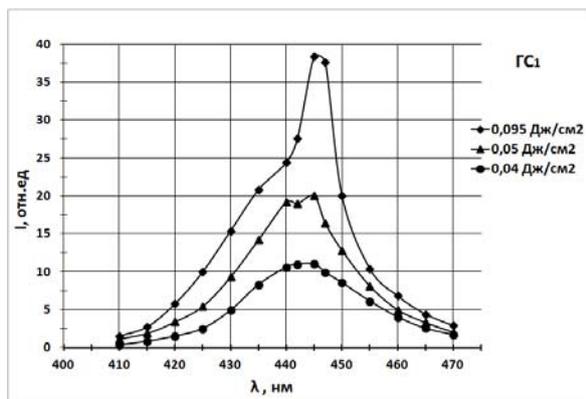


Рис. 2. Спектры ИКЛ образца GS_1 , измеренные в момент импульса возбуждения при различных плотностях энергии СЭП

При достижении $H = 0,26 \text{ Дж/см}^2$ эта полоса является преобладающей в спектре ИКЛ образца GS_1 (рис.3).

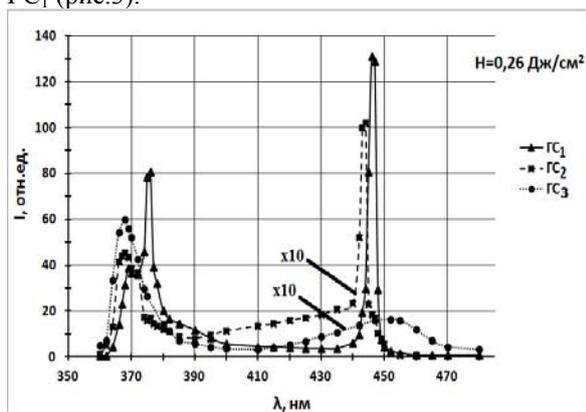


Рис. 3. Спектры ИКЛ образцов GS_1 , GS_2 и GS_3 измеренные в момент импульса возбуждения при $H = 0,26 \text{ Дж/см}^2$

Вынужденное излучение наблюдается также в образце GS_2 (рис.3). Максимум суперлюминесценции этого образца смещен в коротковолновую область спектра ($\lambda_m = 438 \text{ нм}$). Интенсивность полосы суперлюминесценции $\lambda_m = 438 \text{ нм}$ на порядок меньше по сравнению с полосой 447 нм наблюдаемой в образце GS_1 .

В образце GS_3 вынужденного излучения не обнаружено. Интенсивность люминесценции «голу-

бой» полосы в образце GS_3 на два порядка меньше по сравнению с образцом GS_1 .

Выводы

1. Впервые измерены спектрально-кинетические характеристики люминесценции тонкопленочных гетероструктур на основе нитрида галлия, выращенных на сапфировой подложке.

2. Установлено, что в спектре ИКЛ образцов преобладающим является свечение эпитаксиальных слоев нитрида галлия ($\lambda_m = 368\text{-}370 \text{ нм}$) и квантовых ям ($\lambda_m \approx 440 \text{ нм}$).

3. Изучено влияние уровня возбуждения на амплитудные и спектральные характеристики люминесценции светодиодных гетероструктур с квантовыми ямами.

4. В образцах GS_1 и GS_2 обнаружена суперлюминесценция, которая наблюдается при достижении плотности энергии электронного пучка порогового значения (для образца GS_1 $H = 0,06 \text{ Дж/см}^2$).

5. Результаты исследований характеристик ИКЛ светодиодных структур свидетельствуют о возможности разработки люминесцентного метода контроля эпитаксиальных гетероструктур с возбуждением высокоэнергетическим сильнофокусированным электронным пучком.

Метод позволяет контролировать качество всех элементов светодиодной структуры: промежуточных слоев GaN и сверхрешетку $\text{GaN}/\text{In}_x\text{GaN}_{1-x}$. Характеристики люминесценции позволяют сделать заключение о типе и концентрации дефектов, образующихся в процессе выращивания эпитаксиальных слоев.

Литература

- [1] S. Lahmann, F.Hitzel, U.Rossow, A.Hangleiter // Phys. stat. sol.(c) 0, No.7, 2202-2205 (2003).
- [2] C.J. Youn, T.S. Jeong, M.S.Hand // Journal of Crystal Growth 250 (2003) 331-338
- [3] B. Damilano, N. Grandjean, S. Dalmaso // APPLIED PHYSICS LETTERS, volume 75, № 24 (13.12.1999)
- [4] B.J. Ryan, D.P. Lowney, M.O. Henry. // Thin Solid Films 437 (2005) 308-314.

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЛИДАР – ОСНОВАНИЕ»

Баженова Ю.Н.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yuliabazh@mail.ru

В различных областях науки и техники всегда уделялось большое внимание проблеме создания конструкций с наилучшими или заранее требуемыми техническими и эксплуатационными характеристиками. Особенно остро стоит вопрос в области определения рабочих динамических режимов в конструкциях в процессе их эксплуатации.

Другая сторона этой проблемы заключается в том, что создание конструкции с «чистого листа» ставит перед конструктором задачу выполнения эксплуатационных параметров в заранее заданном числовом диапазоне, определить который в самом начале этапа проектирования порою невозможно, т.к. для этого необходимо для принятой рабочей схемы устройства провести сложные расчеты. Для проведения таких расчетов, даже с применением новейших программных продуктов, часто требуется значительное время для создания модели конструкции различной геометрической конфигурации, которая в абсолютном большинстве случаев является статически неопределимой механической системой. Так как во многих случаях приборы и устройства различного назначения в условиях эксплуатации работают в вибрационном режиме, надо знать параметры динамического режима, чтобы избежать ситуации, когда собственная частота конструкции совпадает с частотой вынужденных колебаний.

Используемые для зондирования атмосферы лидары применяют как в стационарном, так и в автомобильном вариантах. Лидар всегда устанавливается на основании определенной конструктивной конфигурации, имеющую свои собственные механические характеристики (резонансные частоты, жесткость и прочность). Поэтому в рабочих режимах лидара из-за переменных внешних механических воздействий существуют проблемы динамического характера, влияющие на точность его наведения [1].

Механическая система «излучатель лидара – основание лидара – автомобиль» в рабочем режиме испытывает вибрационные механические воздействия со стороны работающего на холостом ходу двигателя автомобиля, который служит генератором электропитания связанных с лидаром систем (навигационной, телевизионной, газоанализа, метеосистемы, информационной). Вибрации, возникающие как в отдельных узлах, так и в целом в конструкции силовых элементов основания лидара, передаются на излучатель, и при значительном расстоянии до зоны зондирования амплитуда колебаний, составляющая доли миллиметров у излу-

чателя, превращаются в десятки метров на объекте.

Создание конструкции основания лидара на основе математического расчета и анализа влияния внешних воздействий на лидар в рабочем режиме позволит избежать негативных последствий этих воздействий при его эксплуатации.

Для решения указанной технической проблемы при эксплуатации мобильного варианта лидара использован номограммный метод расчета вибрационных параметров основания лидара в комплексе с методом конечных элементов [2].

Частотный анализ позволяет уже на начальной стадии проектирования оценить спектр собственных частот конструкции и проводить целенаправленную оптимизацию конструктивных параметров с целью достижения условий частотной виброустойчивости. При этом формы колебаний представляют собой относительные амплитуды перемещений конструкции в узлах конечно-элементной сетки. По ним виден характер перемещения элементов конструкции на собственной частоте колебаний. Применение МКЭ на ранней стадии проектирования предоставляет возможность устранить резонансные явления при эксплуатации приборов разведением спектра собственных частот конструкции и частот вынужденных колебаний.

Статический анализ позволяет оценить жесткость через рассчитанные значения перемещений при задании необходимых нагрузок на элементы конструкции.

Один из вариантов конструкции основания лидара имеет конфигурацию замкнутой по кругу фермы и приведен на рис. 1.



Рис. 1. Макет основания лидара

Суть предлагаемой методики заключается в следующем. За целевые функции взяты собственные частоты и жесткость конструкции основания.

В процессе расчета определяется их изменение в зависимости от вариации размеров и конфигурации основания (сечение и длина стоек, количество секций, диаметр основания).

В среде T-Flex CAD были построены 3D модели двух модификаций основания, состоящие из одной и двух (рис. 2).



Рис. 2. Модификации 3D моделей основания лидара

В каждой модификации изменялись количество стоек, размеры их сечения, диаметр основания в различных сочетаниях.

Расчет собственных частот и перемещений методом конечных элементов проводился в среде T-Flex Анализ.

На рис. 3 приведен фрагмент корпуса с наложенной расчетной сеткой.

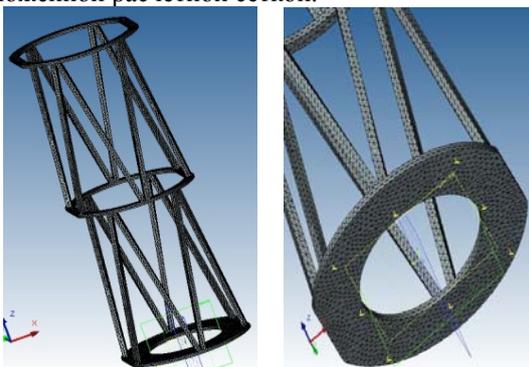


Рис. 3. Конструкция корпуса лидара с конечно-элементной сеткой

По результатам анализа построены номограммы, показывающие:

- зависимость величины деформации основания лидара от размеров основания, сечения укосин и количества секций при нагрузке в 1кг;
- зависимость собственной частоты основания от размеров основания, сечения укосин и количества секций.

На рис. 4 приведен пример номограммы для одного из вариантов конфигурации основания – шестистоечной конструкции с размерами сечения 10×10 мм. Выделенные на графиках точки соответствуют рассматриваемым значениям диаметра основания – 200, 500 и 800 мм.

На первоначальном этапе проектирования лидара использование номограмм позволяет

технически обоснованно выбрать первоначальный вариант конструкции с конкретными размерами элементов основания.

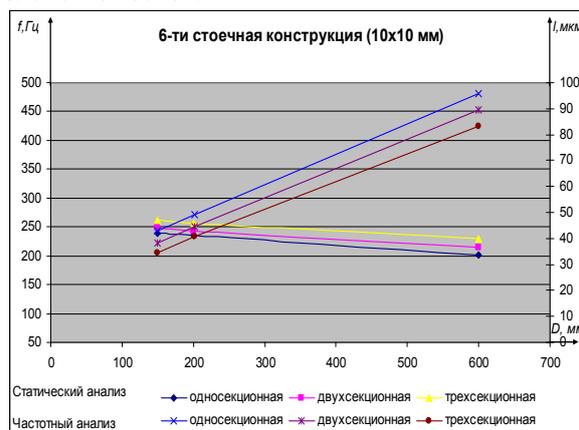


Рис. 4. Номограммы 6-ти стоечной конструкции, сечение стоек-10x10 мм

По результатам статического анализа можно говорить о том, что с увеличением диаметра замкнутой рамной конструкции основания лидара деформация ее при одной той же нагрузке увеличивается, причем увеличение практически линейное. При увеличении количества секций деформация конструкции уменьшается.

Частотный анализ показывает, что с увеличением диаметра основания собственная частота конструкции основания уменьшается, с увеличением сечения стоек и с увеличением количества укосин собственная частота увеличивается.

При установке лидара на основание суммарная масса конструкции увеличится и в определенной степени понизит частотный диапазон механической системы «лидар-основание», поэтому имеющийся запас является гарантией отсутствия совпадения собственных частот в целом всей конструкции и вынуждающей силы, генератором которой является двигатель автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Янгулов В.С., В.В. Теплоухов. Мобильные лидары. Влияние внешних механических воздействий на точность прицеливания лидара //Известия Томского политехнического университета, 2007 – т. 311, - № 2. - с. 30-33.
2. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Баженова Ю.Н., В.В. Теплоухов. Применение метода конечных элементов и номограммного метода при проектировании статических неопределимых механических систем //Электронный научный журнал «Вестник науки Сибири». - 2011. - №1. - <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/39>, с. 155-161.

МАССОВЫЙ КОРИОЛИСОВЫЙ РАСХОДОМЕР

Баландин Е.А., Баландина Т.Н.

Научный руководитель: Гурин Л.Б. к.т.н. профессор

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: error.balandina@yandex.ru

В связи с развитием рыночной экономики, возрастают требования к качеству измерения расхода на узлах коммерческого учета вызывают необходимость замены ряда устаревших приборов на более современные.

Причем они должны удовлетворять ряду качественных критериев: измерение массового расхода, измерение плотности, измерение температуры, наличие компьютерного интерфейса, удобство монтажа и эксплуатации.

Приборы, отвечающие этим требованиям, относятся к прямому методу измерения массы продукта.

Таким прибором является массовый кориолисовый расходомер. Он обладает точностью выше, чем все остальные расходомеры, имеет ряд преимуществ перед объемными расходомерами. В первую очередь это измерение массового расхода напрямую. Это особенно важно на химическом производстве, где необходим точный учет жидкостей. Измерение массового расхода исключает необходимость в переводе объемного расхода в массовый, путем вычисления.

Принципиальная схема кориолисового расходомера, предложенного в 1953 г., изображена на рисунке 1.

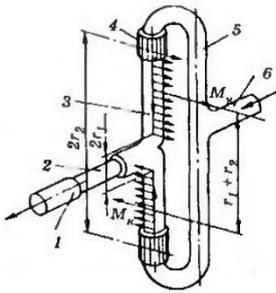


Рис.1. Схема действия сил в кориолисовом расходомере

Они вместе с остальной частью преобразователя расхода вращаются с частотой 1800 об/мин от электродвигателя через зубчатую передачу, связанную со штуцером 6. Жидкость поступает через штуцер 6. Во вращающихся трубках 5 возникает кориолисово ускорение, создающее момент сил, приложенных к стенкам трубки, который направлен противоположно вращающему моменту. В трубках 3, связанных эластичными соединениями 4 с трубками 5, кориолисово ускорение имеет направление, обратное кориолисову ускорению в трубках 5. Поэтому к стенкам трубок 3 приложен момент сил M_k , направленный в сторону вращающегося момента. Момент M_k закручивает тонкую торсионную трубку 2, соединенную с выходным штуцером 1.

Угол закрутки измеряется с помощью тензорезистивных преобразователей.

Момент M_k определяется уравнением

$$M_k = 2 \int_{r_1}^{r_2} \rho F r dr$$

где r - текущий радиус трубки; r_1 - радиус (средний), на котором прекращается движение жидкости в радиальном направлении; r_2 - радиус наружного конца трубки; a - кориолисово ускорение в трубках; ρ - плотность измеряемого вещества; F - площадь поперечного сечения трубки. Кориолисово ускорение $a = 2v\omega$, где v скорость жидкости в трубке 3; ω - угловая скорость вращения трубки. После подстановки значения a в предыдущее уравнение и его интегрирования найдем, что $M_k = \omega(r_2^2 - r_1^2)Q_m$, а угол закручивания

торсионной трубки 2, имеющей жесткость c , будет $\varphi = c\omega(r_2^2 - r_1^2)Q_m$. Сопротивлением эластичных соединений 4 пренебрежено.

В большинстве конструкций, трубка закреплена в двух точках и ей сообщается колебательное движение между этими двумя точками. Такая конфигурация возможна, например, если заставить вибрировать пружину вместе с трубой заполненной жидкостью на ее резонансной частоте, которая зависит от массы трубы с жидкостью. Частоту колебаний выбирают резонансной, т.к. при этом необходима минимальная вынуждающая сила пружины, чтобы поддерживать постоянные колебания заполненной трубы.

Когда трубки совершают колебательные движения, в системе возникает дополнительная сила инерции – сила Кориолиса. И под действием этой силы трубки начинают изгибаться. Их изгиб фиксируется датчиками.

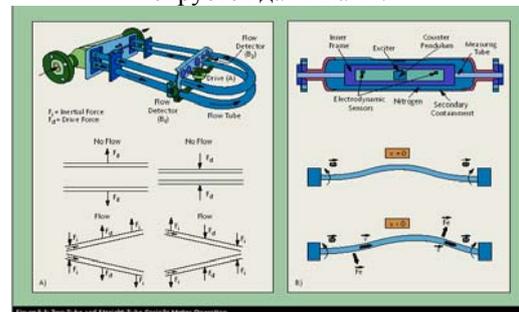


Рис.2. Кориолисов расходомер с изогнутой и прямой трубками.

Трубка может быть изогнутой или прямой рис.2. Когда расходомер состоит из двух параллельных трубок, поток разделяется на два потока на входе и соединяется в один на выходе. При использовании одной трубки (или соединенных последовательно двух трубок) поток в расходомере не разделяется.

В любом случае, привод заставляет трубки вибрировать. Электромагнитный привод состоит из катушки, соединенной с одной трубкой, и из магнита, соединенного с другой трубкой. На катушку подается переменный ток, который заставляет магнит периодически то притягиваться, то отталкиваться.

Естественная резонансная частота двухтрубной конструкции зависит от геометрии, конструктивных материалов и массы всей конструкции (массы трубок и массы жидкости внутри трубок). Масса трубы постоянна. Так как масса жидкости есть ее плотность (D), умноженная на объем (который также постоянен), частота вибрации может быть обусловлена плотностью протекающей жидкости. Следовательно, плотность жидкости может быть определена путем измерения резонансной частоты колебаний трубок (заметим, что плотность жидкости может быть определена и в отсутствие потока, пока трубки заполнены жидкостью и колеблются).

Толщина стенок трубок меняется значительно от модели к модели, но тем не менее, даже самая крепкая трубка будет иметь толщину меньше, чем у трубопровода. В дополнение во многих конструкциях используются трубки малого диаметра, что резко увеличивает скорость потока (от 1,5-3 м/с до более чем 7,6 м/с). Конструкции с большой толщиной стенки трубы и высокими скоростями потока требуют применение особых материалов из-за возникновения эрозии. Для трубопроводов обычно используются углеродистые и нержавеющей стали, так как допускается небольшое количество питтинга.

Кориолисовы расходомеры обеспечивают относительно высокую погрешность измерения расхода равную 0,1-2% в диапазоне расходов 100:1 (отношение максимального расхода к минимальному). В общем случае конструкции с изогнутыми трубками обеспечивают больший диапазон (100:1 до 200:1), в то время как расходомеры с прямой трубкой ограничены диапазоном от 30:1 до 50:1 и их точность ниже. При измерении плотности типичный диапазон погрешности кориолисова расходомера равен 0,002-0,0005 г/см³. Погрешности обусловлены наличием газового фактора в жидкости (воздух, газ).

Кориолисовы массовые расходомеры могут обнаруживать поток всех жидкостей, также достаточно плотных газов. Они могут применяться на производстве, где предъявляются жесткие санитарные условия и где требуется гигиеничность.

Конструкции с прямой трубкой обычно используются для жидких растворов и других многофазных жидкостей.

Поток в конструкции с двумя трубками разделяется на два потока и эти потоки не обязательно должны абсолютно одинаковый массовый расход (но они должны иметь одинаковую плотность). Разные плотности в двух трубках разбалансируют систему, и это создаст ошибки при измерении. Следовательно, если в потоке присутствует вторая фаза, то обычный разделитель может не распределить равномерно поток по трубкам.

Конструкция с одной трубкой также предпочтительна для измерения жидкостей, которые могут создать отложения на стенках и/или засорить прибор. Прямая трубка, если она подобрана так, чтобы по ней проходила максимально возможная по размеру твердая частица жидкости, имеет меньшую вероятность засорения, и она легче очищается. Прямые трубки могут быть очищены механическими средствами, в то время, как изогнутые обычно промываются специальным раствором при скоростях, превышающих 3 м/с. Прямые трубки также используются в санитарных условиях, т.к. они обладают требованием самозаполнения.

Длинные изогнутые трубки изгибаются лучше, чем короткие и прямые, поэтому они создают более сильный сигнал в одинаковых условиях.

Прямотрубные расходомеры выдерживают большие напряжения трубы и вибрацию, легко устанавливаются, требуют меньший перепад давления, могут быть очищены механически, более компактны и требуют меньше места для установки.

Они также используются при измерении жидкости, которая может затвердеть при определенной температуре.

Кориолисов расходомер может продолжительное время работать с жидкостью, чья температура достигает 230⁰С. Такие расходомеры имеют ряд преимуществ по отношению к другим, а именно: высокая точность, повторяемость результатов измерений. Нет движущихся деталей. Не требуются прямые участки.

Список литературы:

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 718 с.: ил.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2/Под общ. Ред. Е.А. Шорникова.-5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника,2004.-412 с: ил.
3. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 1. Механика. Молекулярная физика: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 432с

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАСШТАБНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Баранов П. Ф., Газетова А. М

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

Непрерывно возрастающие требования к точности и достоверности измерений стимулируют непрерывное совершенствование измерительной техники, что в свою очередь требует опережающей разработки новых средств ее метрологического обеспечения.

Наиболее приемлемым методом измерения параметров пассивных электронных компонентов и определения метрологических характеристик, таких как погрешность преобразования аналого-цифровых и цифро-аналоговых устройств, ослабления аттенуаторов, коэффициента передачи делителей, является метод сравнения с мерой.

Практическое применение метода невозможно без наличия высокочувствительных приборов сравнения. Разрешающая способность последних во многом определяет минимальную погрешность измерений [1].

В качестве приборов, обеспечивающих разрешающую способность порядка единиц нановольт – сотен пиковольт при сравнении сигналов в широком динамическом диапазоне частот и напряжений, распространение получили синхронные усилители (СУ) с дифференциальным входом, в англоязычной литературе Lock-In Amplifier [2].

В настоящей работе проведена оценка погрешности устройства сравнения для автоматизированного комплекса с помощью которого можно производить испытания масштабных измерительных преобразователей (МИП) на основе прецизионного СУ с дифференциальным входом.

Состав автоматизированного комплекса

В состав комплекса входят образцовый индуктивный делитель ДИ-3м, генератор-калибратор Fluke 5520А и синхронный усилитель СУ-2011, структурная схема представлена на рис. 1.

Комплекс позволяет в автоматизированном режиме, в соответствии с программой испытаний, производить измерения коэффициента передачи, входного и выходного импеданса проверяемого масштабного измерительного преобразователя [3].

СУ-2011 обеспечивает сравнение значений двух напряжений одной частоты, полученных с выходов масштабных преобразователей, входы которых получают сигналы с генератора – источника синусоидального напряжения.

Для выделения малого дифференциального сигнала в нановольтовом диапазоне была предложена структура входного каскада синхронного усилителя, с подвешенным питанием [4].

Благодаря использованию следящего питания для работы вычитающего устройства и повторите-

ля удалось выбрать типы операционных усилителей, обеспечивающих при сравнительно низких напряжениях питания оптимальное соотношение между полосой пропускания, шумами, коэффициентом подавления синфазного сигнала и входным сопротивлением.

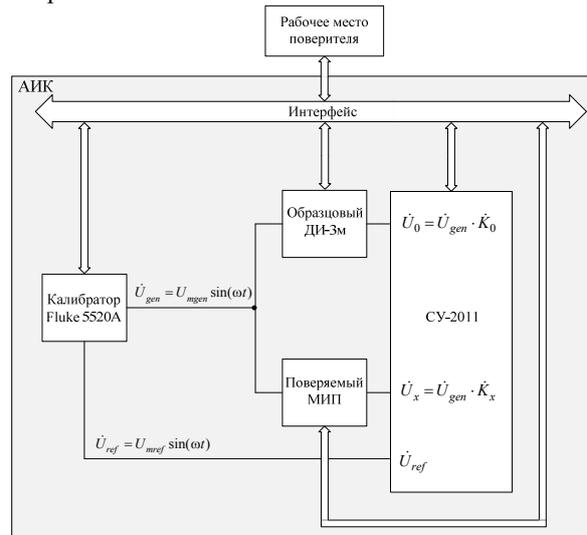


Рис.1 Структурная схема автоматизированного комплекса для испытаний масштабных измерительных преобразователей

Оценка погрешности устройства сравнения

Если принять, что в структуре с подвешенным питанием вычитающее устройство имеет идеальный дифференциальный коэффициент усиления и бесконечное ослабление синфазного сигнала $K_{осс} = \infty$, то выходное напряжение будет инвариантно к неидеальности повторителя и будет определяться:

$$\Delta \dot{U} = K(\dot{U}_x - \dot{U}_0 K_{\Pi} - \dot{U}_0(1 - K_{\Pi})) = K(\dot{U}_x - \dot{U}_0)$$

где K – коэффициент усиления вычитающего устройства;

K_{Π} – коэффициент передачи повторителя; \dot{U}_x – напряжение на выходе проверяемого МИП, В; \dot{U}_0 – напряжение на выходе образцового МИП, В.

Для схем инструментальных усилителей точность дифференциального коэффициента усиления обеспечивается лазерной подгонкой его элементов, однако при этом коэффициент ослабления синфазного сигнала в большинстве схем не превышает 100–120 дБ и начинает уменьшаться со скоростью 20 дБ/дек в диапазоне десятков и сотен килогерц при частоте среза $f_{ср} \approx 5$ кГц. Поэтому наряду с полезной информацией на выходе вычи-

тающего устройства появляется паразитный сигнал и выходное напряжение определяется как:

$$\Delta \dot{U} = K \cdot \left[(\dot{U}_x - \dot{U}_0) + \frac{\dot{U}_x + \dot{U}_0}{2 \cdot K_{\text{осс}}} - \frac{\dot{U}_0 \cdot K_{\text{п}}}{K_{\text{осс}}} \right]$$

Коэффициент ослабления $K_{\text{осс}}$ синфазного сигнала микросхемы вычитающего устройства PGA207 в низкочастотном участке диапазона составляет 100 дБ и начинает уменьшаться со скоростью 20 дБ/дек после частоты среза $f_{\text{ср}} \approx 4$ кГц. При коэффициенте усиления дифференциального сигнала $K=1$, полоса пропускания усилителя по уровню -3 дБ составляет 5 МГц, что позволяет в рассматриваемом частотном диапазоне принять K вещественным.

На рис. 2 представлен график абсолютной погрешности от недостаточного подавления синфазного сигнала вычитающего устройства при одинаковых и синфазных напряжениях \dot{U}_0 и \dot{U}_x для частот 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц и коэффициенте передачи повторителя, аппроксимированного инерционным звеном первого порядка.

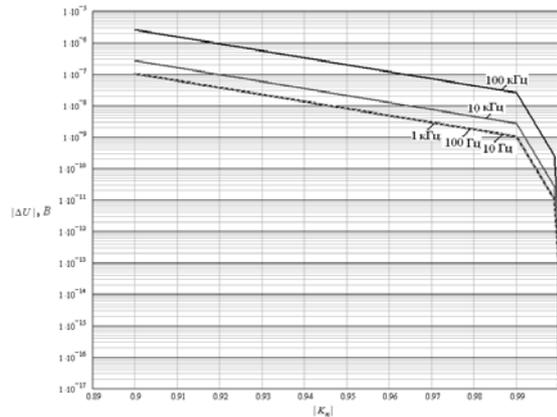


Рис.2. Влияние остаточного напряжения синфазной составляющей на результат измерения

Для ослабления влияния остаточного напряжения синфазной составляющей разностного сигнала введена операция калибровки измерительного тракта СУ, при которой на оба входа схемы вычитания подается один и тот же сигнал \dot{U}_0 . Полученная разность запоминается и компенсируется в процессе дальнейших измерений.

Относительная погрешность результата измерений разности длин двух векторов \dot{U}_0 и \dot{U}_x после компенсации синфазной составляющей определяется как:

$$\gamma_{\text{сф}} = \frac{\left(\Delta U_{\text{изм}} - \Delta U_{\text{изм}}(\dot{U}_x = \dot{U}_0) \right) - \Delta U_{\text{Д}}}{\Delta U_{\text{Д}}} \cdot 100\%$$

где $\Delta U_{\text{изм}}$ – измеренная разность длин векторов \dot{U}_0 и \dot{U}_x , В;

$\Delta U_{\text{Д}}$ – действительная разность длин векторов, В.

Технические характеристики синхронного усилителя

Разработанный синхронный усилитель с дифференциальным входом позволяет обеспечивать следующие характеристики:

Диапазон частот – 0,02...100 кГц;

Динамический диапазон входных напряжений – 0...15 В;

Разрешающая способность – 5 нВ на частоте 1 кГц;

Разрешающая способность – 100 нВ, 1 мкВ, 10 мкВ в диапазоне рабочих частот и напряжений;

Для управления СУ в среде графического программирования LabVIEW разработано специальное программное обеспечение, которое позволяет в удаленном режиме через локальную сеть и/или сеть Интернет производить измерения в составе автоматизированного измерительного комплекса и виртуальной лаборатории [5].

Разработанный синхронный усилитель был использован как средство измерения в составе автоматизированного измерительного комплекса для испытаний и поверки индуктивных масштабных преобразователей напряжения переменного тока во Всероссийском Научно-Исследовательском Институте Физико-Технических и Радиотехнических Измерений (ВНИИФТРИ).

Работа выполнялась при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. в рамках государственного контракта № П487.

Список литературы:

1. Цимбалист Э. И., Мержа А. Н., Ройтман М. С. Дифференциальные указатели напряжений переменного тока // Измерения, контроль, автоматизация. – 1994. – № 1-2(83). – С. 11-23.
2. M.L.Meade, Lock-in amplifiers: Principles and Applications. Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1983. 2nd edit. 1989, 246 p.
3. Ким В.Л. Методы и средства повышения точности индуктивных делителей напряжения: монография. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2009. – 214 с.
4. Бориков В. Н., Баранов П. Ф., Цимбалист Э. И., Ким В. Л. Устройство для испытаний и поверки индуктивных делителей напряжения // Контроль. Диагностика. - 2011 - № 11 (161) - С. 41-45
5. Баранов П.Ф., Бориков В.Н. Дистанционный лабораторный практикум на основе графической программной технологии // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – № 1. – С. 81–88.

ОДНООСНЫЙ ИНДИКАТОРНО-СИЛОВОЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР

Барашкина В.В.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: vikuwe4ka22@mail.ru

Развитие современной авиационной и ракетной техники характеризуется значительным ростом скорости, высотой полета и маневренности летательных аппаратов. Основные задачи по управлению данными аппаратами решаются с помощью гироскопических приборов и систем. Кроме того, на гироскопические системы возлагаются сложные задачи по стабилизации и управлению целым рядом специальных бортовых систем. Требования высокой точности стабилизации бортовых систем, обладающих большим весом и моментом инерции на заданное направление в пространстве, привели к созданию гироскопических стабилизаторов.

Гироскопическим стабилизатором или гиросtabilизатором (ГС) называется устройство, в котором гироскоп осуществляет слежение за внешним моментом и с помощью двигателя компенсирует его, удерживая стабилизируемую массу в неизменном положении [1].

Таблица. Классификация гиросtabilизаторов

Гироскопический стабилизатор		
№ п /п	По количеству стабилизированных осей	По применяемому чувствительному элементу
1	Одноосный ГС	Силловые с дважды интегрирующим гироскопом
2	Двухосный ГС	Индикаторно - силловые с поплавковым интегрирующим гироскопом или датчиком угловых скоростей
3	Трехосный ГС	Индикаторные с динамически настраиваемым гироскопом

Несмотря на то, что классификация ГС разнообразна основное требование которое к ним предъявляется это точность сохранения заданного положения платформы при действии на нее различных динамических возмущений со стороны объекта, на котором она установлена.

Одноосные индикаторно - силловые гиросtabilизаторы (ОИСГС) обеспечивают заданную ориентацию стабилизируемого элемента (платформы) относительно одной оси. В качестве чувствительных элементов используются поплавковый интегрирующий гироскоп или датчик угловой скорости (см.таблица). Однако значительный успех в развитии микроэлектроники привел к появлению микромеханических устройств, которые содержат миниатюрные, прочные механические датчики. Микромеханические гироскопы (ММГ) являются одними из самых перспективных датчиков инерци-

альной информации для широкого круга подвижных объектов (навигационное оборудование, автомобильная промышленность, военная техника, бытовая электроника, робототехника и др.). Достоинствами ММГ являются их сверхмалые массы (доли граммов) и габариты (единицы и доли миллиметров), низкая себестоимость и энергопотребление. Одним из главных недостатков этих приборов является их низкая точность [2,3]. Но, несмотря на это они являются весьма перспективными для их использования в качестве чувствительных элементов, используемых ранее в ОИСГС.

Рассмотрим принцип действия гиросtabilизатора, построенного на датчике угловых скоростей (рис.1). Пусть вокруг оси стабилизации действует вредный момент нагрузки M_1 . Гироскоп начнет поворачиваться вокруг оси прецессии с угловой скоростью прецессии $\dot{\beta} = \frac{M_1}{H}$. Благодаря прецессии

возникает гироскопический момент $M_G = H \times \dot{\beta}$, который действует на платформу и по величине равный внешнему моменту

$M_G = H \times \dot{\beta} = H \times \frac{M_1}{H} = M_1$, и противоположный ему по направлению.

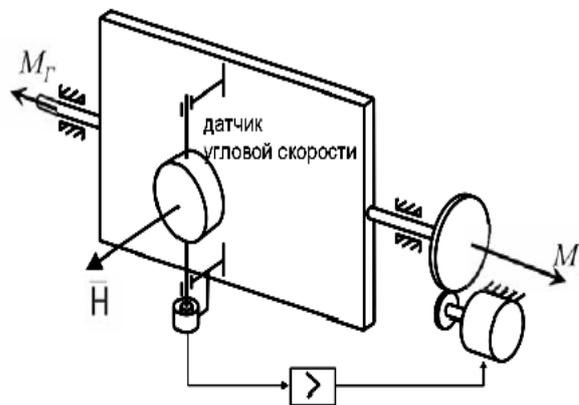


Рис. 1. Кинематическая схема одноосного индикаторно - силового гиросtabilизатора

Суммарное действие на платформу этих моментов равно нулю и поворота платформы вокруг оси стабилизации не происходит. По мере увеличения угла поворота вокруг внутренней оси сигнал с датчика угла поступает на двигатель, который тоже создает момент противоположный возмущающему моменту. И теперь возмущающий момент уравновешивается двумя моментами: гироскопическим и моментом двигателя. При этом угловая скорость уменьшается и по окончании переходного процесса угловая скорость станет рав-

ной нулю, а вредный момент будет уравновешен моментом создаваемым двигателем [4].

В качестве исполнительных механизмов в ОИСГС используются электродвигатели, редукторы. Однако современные технологии требуют от электропривода повышения качества движения (как в статике, так и динамике), быстродействия, надежности и эффективности наряду с уменьшением стоимости и вносимых приводом искажений в сетевое напряжение. Это обуславливает применение как «новых» двигателей так и более сложных методов управления электроприводом, реализуемых на новой элементной базе. В качестве таких двигателей могут выступать моментные электродвигатели. В настоящее время наметилась тенденция использования бесконтактных моментных электродвигателей для безредукторного регулируемого электропривода в различных областях приборостроения.

Моментные электродвигатели имеют многополюсный ротор с тангенциальным или радиальным намагничиванием магнитов (рис.2).

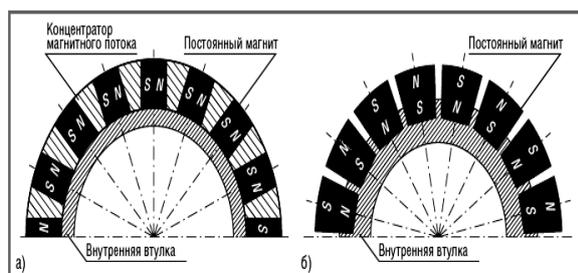


Рис. 2. Ротор моментного электродвигателя (а) - с тангенциальным намагничиванием магнитов; б) - с радиальным намагничиванием магнитов)

С целью обеспечения максимальной статической добротности используются высокоэнергетические постоянные магниты из материала самарий-кобальт или неодим-железо-бор. Применение высокоэнергетических магнитов решает задачу обеспечения устойчивости двигателя к пусковым токам, перегрузкам по току и моменту, а также позволяет намагничивать магниты до их установки в ротор и не предусматривать специальных мер по их защите от размагничивания. В случае ротора с тангенциальным намагничиванием магнитов (рис.2а) внутренняя втулка выполняется из немагнитной нержавеющей стали, а полюсы, выполняющие роль концентраторов магнитного потока, - из шихтованных листов материала типа 50Н толщиной около 0,5 мм. Для ротора с радиальным намагничиванием магнитов (рис.2б) внутренняя

втулка изготавливается из магнитомягкого материала и служит замыкателем магнитного потока. Статор моментного электродвигателя также может иметь два конструктивных исполнения с двухслойной петлевой обмоткой: гладкий (беспазовый) и пазовый. Для гладкого статора характерно отсутствие реактивного остаточного момента сопротивления и пульсаций вращающего момента, а также малые электромагнитные постоянные времени обмоток. Пазовый статор позволяет обеспечить более высокую магнитную индукцию в воздушном зазоре, повышенную статическую добротность и меньшую электромеханическую постоянную времени, чем в двигателе с гладким статором.

Бесконтактные моментные электродвигатели уступают традиционному приводу с редуктором в первую очередь по массе и габаритам. Отсутствие или малое скоростное демпфирование в моментных двигателях требует применения датчика частоты вращения или дифференцирующего устройства. Однако указанные недостатки компенсируются качественно новыми свойствами на базе бесконтактного моментного электродвигателя. Достижения современной электроники позволяют обеспечить стабильный по углу поворота ротора электромагнитный момент при минимальных потерях в обмотке якоря, нечувствительный к малым отклонениям вектора магнитодвижущей силы от оптимального направления. Отсутствие редуктора уменьшает трудоемкость изготовления привода, его износ, шум при работе и упрощает обслуживание. Однако основное преимущество безредукторных приводов заключается в возможности повышения точности за счет отсутствия люфтов, существенного уменьшения «мертвого хода», повышения резонансной частоты, а также снижения моментов сухого трения и других нежелательных факторов [5].

Список литературы

1. Серегин В.В. Прикладная теория и принципы построения гироскопических систем. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 78 стр.
2. http://planetadisser.com/see/dis_38077.html
3. http://gendocs.ru/v6598/реферат_микромеханический_гироскоп
4. <http://www.soel.ru/cms/f/?/372214.pdf>
5. Теория гироскопических стабилизаторов: учебное пособие / А.Н.Лысов, А.А.Лысова. - Челябинск Издательский центр ЮУрГУ, 2009. - 117с.

УСТРОЙСТВО РАЗВОРОТА ПЛАТФОРМЫ С ГИРОДАТЧИКОМ

Барбин Е.С.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: bar_es@mail.ru

Устройство разворота платформы разрабатывается для системы ориентации сейсмоприемников при реализации метода вертикального сейсмопрофилирования.

Как отмечалось в [1], для устранения ошибки «от пуска к пуску» гиродатчика на основе динамически настраиваемого гироскопа типа КИНД 05-089 необходимым является установка гиродатчика на одноосной поворотной платформе, разворачиваемой специальным приводом относительно корпуса строго на 180°. С помощью гиродатчика измеряются две составляющие угловой скорости в двух положениях платформы. Далее информация обрабатывается с помощью специальных алгоритмов, рассмотренных в [2], и определяется ориентация сейсмоприемников.

Вся конструкция скважинного прибора должна вписываться в диаметр 73 мм. С учетом толщины стенки охранного кожуха внешний диаметр корпуса с поворотной платформой не должен превышать 55 мм.

Согласно предварительным расчетам, для обеспечения заданной точности системы ориентации погрешность приведения платформы в крайние положения не должна превышать 1-2'.

Во избежание дрейфа платформы и возникновения вследствие этого помех в полезном сигнале во время съема информации с сейсмоприемников, а также исключения влияния ударных нагрузок в процессе спуска скважинного прибора важно обеспечить арретирование поворотной платформы относительно корпуса.

Определенные ограничения на плавность хода поворотной платформы накладывает принцип работы гиродатчика. В последнем используется синхронный двигатель, который боится резких поворотов статора вокруг оси вращения. При резких поворотах возможно выпадение ротора из синхронизма, что сведет все усилия по борьбе с ошибкой «от пуска к пуску» на нет.

По воздействующим механическим факторам скважинный прибор относится к подгруппе МС2-2 по ГОСТ 26116-84, как скважинный прибор, работающий в период остановок в скважине. В соответствии с указанным ГОСТом возможны вибрации с частотой 10-70 Гц и максимальным ускорением до 35 м/с².

Данная задача имеет большое число вариантов решения. Возможно строить систему с использованием аналоговых или цифровых исполнительных органов и датчиков, строить систему по замкнутому или разомкнутому принципу, а также использовать комбинацию различных принципов и датчиков.

Рассмотрим варианты с использованием классической системы автоматического регулирования (САР). Из них выберем те, которые потенциально могут обеспечить необходимую точность разворота.

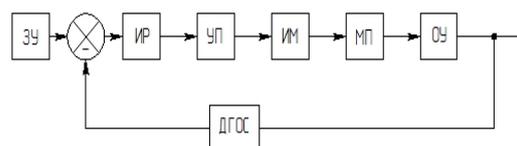


Рис. 1. Классическая схема САР с обратной связью

На рисунке обозначено: ЗУ – задающее устройство; ИР – измеритель рассогласования; УП – усилитель преобразователь; ИМ – исполнительный механизм; МП – механическая передача; ОУ – объект управления; ДГОС – датчик главной обратной связи.

В качестве датчика обратной связи можно использовать различные устройства. Первый вариант – синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). При определенных схемах включения с применением СКВТ можно добиться точности позиционирования в 2-4', что уже не соответствует требованиям. Резкие ограничения на диаметр узла заставляет использовать миниатюрные СКВТ, имеющие заметно меньшую точность.

Вторым вариантом датчика может быть использование цифрового энкодера – преобразователя угол-код. Анализ элементной базы показал, что в мире производятся энкодеры с наружным диаметром менее 55 мм с количеством шагов 5000 на оборот, что в переводе на минуты дает погрешность в 4,32'. Можно применить мультипликатор на входной оси энкодера, тем самым увеличивая количество шагов на оборот, следовательно и увеличивая точность позиционирования до уровня 10-20". По данному критерию такой тип датчика с применением мультипликатора подходит, но появляется проблема неоднозначности положения платформы, т.к. один и тот же код на выходе энкодера будет соответствовать нескольким значениям угла поворота платформы относительно корпуса. Возникает необходимость введения дополнительных разрядов, построением датчика, формирующего старшие разряды кода, что позволит учитывать количество оборотов энкодера. Данная схема накладывает дополнительные требования на двигатель и редуктор. В частности, момент нагрузки, приведенной к валу двигателя, значительно увеличивается, что, в свою очередь, увеличит габаритные размеры двигателя. Редуктор должен иметь две выходные оси, одна из которых связана с энкодером и датчиком дополнительных разрядов, другая – с поворотной платформой.

Вариантом разомкнутой системы автоматического регулирования является применение шагового двигателя с волновым редуктором, который позволяет добиться точности позиционирования в 1-2', при условии большого передаточного отношения редуктора. Но шаговые двигатели имеют особенность накапливать ошибку, например, вследствие сбоя в электронике.

В рассмотренных схемах погрешность угла поворота определяется разрешающей способностью электромеханических датчиков, поэтому следует обратить внимание на механические системы, позволяющие выполнять разворот платформы с очень высокой точностью.

Применение упоров на корпусе, которые будут задавать угловое положение платформы возможно в двух исполнениях. Первое, когда поступательное движение винтовой передачи или электромагнита передается через пространственный кулачок на платформу, которая разворачивается в нужное положение до второго упора на корпусе. Обратный ход до первого упора обеспечивает упругий элемент. Данная схема не удовлетворяет требованиям по плавности хода. В момент подхода платформы к упору она будет испытывать ударную нагрузку, которая может вывести гиродатчик из синхронизма.

По результатам анализа всех вариантов было разработано устройство разворота. Идея состоит в том, чтобы исполнительный орган связать с платформой через упругий элемент. Для перевода платформы в одно крайнее положение включается двигатель, который через упругий элемент вращает платформу к этому крайнему положению. Вращение платформы прекращается после того, как платформа ляжет на упор. Однако, вращение двигателя продолжается, упругий элемент деформируется, обеспечивая надежное поджатие платформы к упору. После того, как будет обеспечено достаточное усилие поджатия, двигатель отключается. Двигатель обратного хода не имеет, поэтому устройство в таком состоянии может находиться сколь угодно долго. Точно так же работает устройство при переводе в другое крайнее положение.

Изложенная идея положена в основу конструкции, 3D-модель которой представлена на рис. 2.

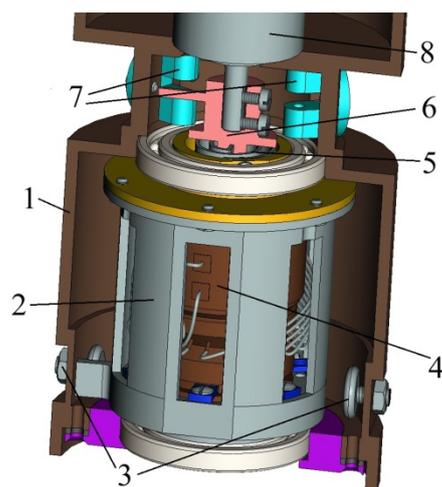


Рис. 2. 3D-модель конструкции устройства разворота платформы

На рисунке обозначено: 1- корпус; 2- поворотная платформа; 3 – упоры на корпусе; 4- гиродатчик; 5 – упругий элемент; 6 – втулка; 7 – оптические датчики; 8 – двигатель с редуктором.

Плавный пуск и остановку платформы можно обеспечить, регулируя скорость вращения двигателя. Для этих целей удобнее всего применять шаговый двигатель.

Упругий элемент выполнен в виде спирали Архимеда из металлической ленты. Спираль играет роль муфты и позволяет передавать вращение с выходного вала редуктора на платформу даже при наличии смещения осей и их перекосов. Выключение двигателя происходит по сигналам с оптических датчиков (оптопар), перекрываемых шторкой, выполненной заодно со втулкой. Регулируемые ограничители в виде эксцентрика позволяют добиться точности позиционирования в 0,5-1'. На платформу закреплено плоскопараллельное двухстороннее зеркало. С помощью автоколлимационного теодолита и указанного зеркала производится регулировка упоров, обеспечивающая разворот строго на 180°.

Электрическая связь гиродатчика с корпусом осуществляется с помощью гибкого ленточного кабеля на полиимидной основе.

Список литературы

1. Барбин Е.С. Сёмкин И.М. Концепция построения скважинной системы ориентации сейсмоприемников. // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. –с. 154-156.

2. Сёмкин И.М. Алгоритмы обработки информации в системе ориентации сейсмоприемников. // Статья в настоящем сборнике .

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИМПУЛЬСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Беззлях Д.Д., Кулешова М.С.

Научный руководитель: Лисицын В.М. проф. д.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: darya.bez@gmail.com

Проблема аварийности, связанной с автомобильным транспортом, в настоящее время имеет большую значимость; особо остро эта проблема касается тех территорий, где дорогу невозможно осветить из-за отсутствия линий электропередач.

В условиях плохой видимости водитель может не увидеть дорожную разметку. Это приводит к повышенной аварийности на трассах. При условии если дорожная разметка будет оборудована светодиодными светильниками, то они будут привлекать намного больше внимания водителей и пешеходов, что позволит уменьшить количество ДТП. Такую дорожную разметку будет видно и при плохих погодных условиях.

Основные требования, предъявляемые к светильникам такого типа:

- Оптическая система должна быть спроектирована таким образом, чтобы прямой свет от светодиода не слепил водителя автотранспортного средства
- Светильник должен иметь класс защиты не менее IP68
- Светильник должен стабильно работать в интервале температур от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$
- Для того, чтобы светильники окупали затраты на производство, требуется, чтобы их срок службы был не менее одного года
- Светильники должны быть компактными, т.к. они будут врезаться в дорожное полотно
- Должны быть вандалостойкими
- Материалы корпуса должны быть прочными на износ и давление

Нами ведется разработка автономного светодиодного светильника, полностью удовлетворяющего вышеперечисленным требованиям.

В качестве источника света был выбран светодиод на 40 мА с белым цветом излучения, обладающий высокой яркостью. В лаборатории были подобраны режимы работы светодиода на генераторе импульсов Г5-60, параметры длительности импульса и периода. Наиболее приемлемыми оказались 2 режима: с длительностью импульса 0,1 секунды и периодом 2 секунды, а так же с длительностью 10 миллисекунд и периодом 1 секунда. С точки зрения экономии энергии второй режим более приемлем, так как в этом случае, энергия источника питания будет расходоваться в 100 раз меньше по сравнению с постоянным режимом работы светодиода. Экспериментально показано,

что вспышки воспринимаются глазом достаточно хорошо.

В качестве автономных источников питания были выбраны щелочные батарейки типа АА. При выборе типа батареек учитывались такие факторы, как ёмкость, напряжение и зависимость свойств от температуры окружающей среды. Также немаловажным фактором является цена, так как стоимость батареек составляет почти половину от стоимости всего светильника. В экспериментальном образце использовались батарейки Energizere91 с ёмкостью 2930 мА*ч и напряжением 1,5 В. При непрерывном режиме работы светодиода время разряда одной батарейки составит:

$$T = C / I_{\text{пит}} = 2390 / 40 = 73,25 \text{ ч.}$$

Но, учитывая то, что светодиод работает в импульсном режиме, время разряда увеличится в 100 раз, что составит 305 дней. Однако свойства батареек и аккумуляторов сильно зависят от внешних условий. На рис. 1 представлена диаграмма падения ёмкости четырех видов батарей при понижении окружающей температуры до -15°C относительно ёмкости при $+23^{\circ}\text{C}$.

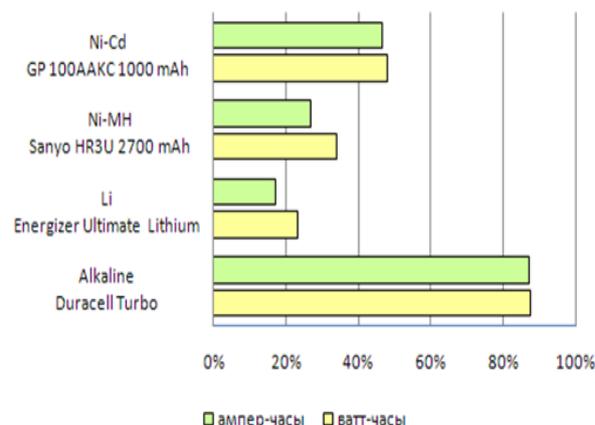


Рис. 1 Потери ёмкости в процентах при охлаждении до -15°C относительно ёмкости при $+23^{\circ}\text{C}$ при разряде постоянным током 500 мА [1]

Диаграмма показывает, что наиболее стойкими к воздействию температуры являются литиевые батарейки. Алкалиновые батарейки теряют более 80% ёмкости.

На рис. 2 отображено падение ёмкости литиевых и алкалиновых батареек при разряде постоянной мощности при 0°C . Из диаграммы видно, что алкалиновые батарейки не подходят для работы в условиях отрицательных температур.

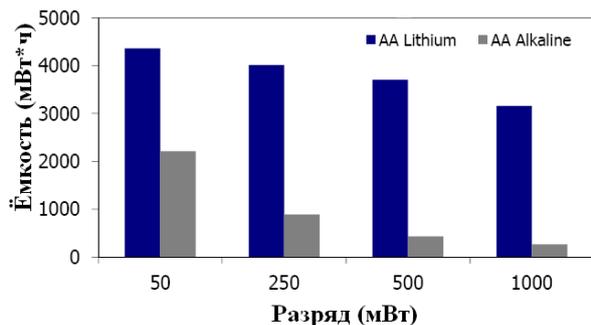


Рис. 2 Диаграмма падения ёмкости литиевых и щелочных батареек при разряде постоянной мощности при 0°C [2]

Современные светодиоды являются токовыми приборами, следовательно, для их нормальной и долговечной работы требуется выполнить ряд требований по электропитанию. Главное требование - это обеспечение протекания через светодиод стабилизированного номинального тока. Ток должен быть постоянным и не зависеть от колебаний или изменений питающего напряжения. Решить эту задачу помогают специальные устройства называемые драйверами питания.

Для экспериментального образца был выбран драйвер, схема которого представлена на рис. 2.

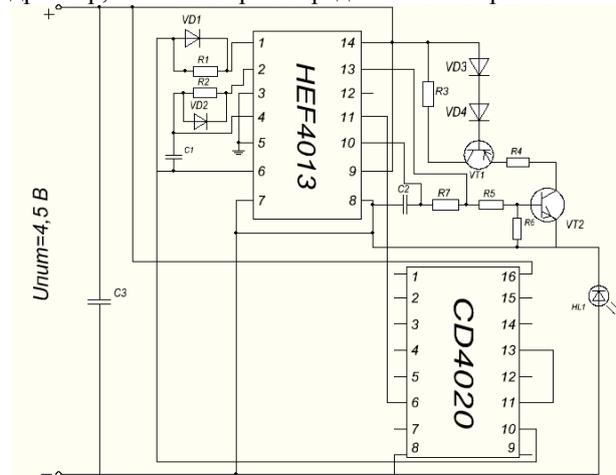


Рис. 2 Электрическая схема драйвера светодиода

Учитывая то, что данный светильник является уличным, и должен сохранять свои основные свойства при различных температурных и погодных условиях, его класс защиты должен быть IP68, расшифровка которого представлена в таблице 1.

Таблица 1
 Расшифровка класса защиты IP 68[3]

Тип воздействия	Класс защиты	Вид воздействия
Вода	8	Защита от воды при неограниченном времени погружения на определенную глубину
Посторонние твердые тела и	6	Полная защита от пыли

пыль		
------	--	--

Корпус должен быть устойчивым к внешним воздействиям, прежде всего к климатическим изменениям и механической нагрузке автомобилей. Исходя из этих требований, в качестве материала для корпуса был выбран алюминий. В верхней части корпуса будет окно, через которое будет выводиться излучение светодиода, направленное в сторону движущегося транспорта. Отверстие будет закрыто оргстеклом, которое будет рассеивать свет, исключая попадание прямого света в глаза водителя. Во избежание попадания влаги и грязи вовнутрь все швы будут промазаны герметиком, который, в свою очередь, должен сохранять свои свойства при температурах от -40 °C до +40 °C. Внутренняя часть корпуса будет покрыта светоотражающим материалом для увеличения КПД устройства. Фиксация всех внутренних элементов, должна быть устойчивой к вибрации, создаваемой транспортом. Все устройство будет жестко монтироваться в отверстие, пробуренное в асфальте.

В настоящее время проводится эксперимент по испытанию светодиодного драйвера на устойчивость к низким температурам. Драйвер был помещен в металлический корпус с пластиковой крышкой. Швы были промазаны герметиком. Сначала была проверена надежность герметика. Для этого конструкция была на сутки погружена в воду. Испытание показало, что выбранный герметик полностью изолировал внутреннюю часть коробки от влаги. После этого конструкция была помещена в среду с температурой ниже -30 °C. Эксперимент продолжается уже более 2х недель, что показывает устойчивость драйвера к низким температурам.

Подобные технологии нашли применение во всех развитых странах, например, в Великобритании уже, по меньшей мере, 120 неосвещенных автомагистралей оборудованы новыми системами. Согласно статистике аварийность на этих дорогах снизилась почти в два раза. Новая технология позволяет водителю видеть дорогу в ночное время на расстоянии до 900 метров, что увеличивает время реакции до 30 секунд, в отличие от 3,2 секунды при использовании обычных отражателей.[4]

Список литературы:

1. Артамонов О.А. Батарейки на морозе [Электронный ресурс] <http://www.fcenter.ru/forprint.shtml?online/articles/hardware/tower/25880>
2. Product datasheet [Электронный ресурс] <http://www.energizer.com>
3. Светодиодные светильники: ваш первый опыт. Журнал «Полупроводниковая светотехника» № 1, 2009 г.
4. На дорогах появилась светодиодная разметка [Электронный ресурс] <http://acars.ru/news/roads/2345>

МОДУЛЬ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Бибасаров Д.С.

Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dubikan@mail.ru

В настоящее время в условиях энергетического кризиса все более актуальным становится решение проблемы управляемого термоядерного синтеза. Сегодня, в рамках международной программы ИТЭР (международного экспериментального токамака-реактора) в городе Курчатов (Казахстан) строится материаловедческий токамак КТМ, основной задачей которого будет исследование на теплоустойчивость материалов, планируемых для построения вакуумной камеры [1]. В состав токамака КТМ входит множество подсистем сбора данных и диагностики, одной из главных является подсистема сбора данных датчиков электромагнитной диагностики (ПСД ЭМД). Она предназначена для выполнения операций сбора, регистрации и обработки информации, поступающей с датчиков ЭМД КТМ, которая в дальнейшем используется для расчета формы плазменного шнура и его положения относительно оси вакуумной камеры. Особенностью ПСД ЭМД является наличие порядка 200 независимых измерительных каналов (ИК), отличающихся диапазоном, скоростью изменения сигналов, требуемыми алгоритмами обработки.

Становится ясно, что уже на нижнем уровне ПСД ЭМД необходим интеллектуальный модуль первичной обработки сигналов, имеющий широкие возможности индивидуальной настройки измерительных каналов, большие вычислительные ресурсы и быстродействие, позволяющие решать поставленные задачи в режиме реального времени. Для достижения поставленной цели был разработан модуль первичной обработки сигналов МПОС-1М. МПОС-1М преобразует сигналы напряжения, поступающие с датчиков ЭМД по четырем гальванически несвязанным цепям, в цифровую форму и далее передает их по последовательному оптическому интерфейсу к устройству регистрации и обработки цифровых сигналов [2].

Сигнал с датчика поступает на вход измерительного канала ИК, состоящего из резистивного делителя РД, первого программируемого усилителя ПУ1, второго программируемого усилителя ПУ2, аналогового фильтра Ф (рис.1.). Выходной сигнал последнего поступает на вход АЦП. Коэффициент передачи РД может быть установлен равным 0,1 или 1 в зависимости от уровня сигналов, поступающих с датчика. Основное назначение РД – защита входов усилителя от перегрузок. Усилители ПУ1 и ПУ2, выполняющие функции нормирующего преобразователя, согласуют уровни сигналов с датчиков с диапазоном измерений АЦП. Фильтр представляет собой ФНЧ и устраняет высокочастотные шумы в сигнале, поступающем на вход

АЦП. Последний осуществляет преобразование аналогового сигнала в цифровой код.



Рис.1. Структурная схема модуля МПОС-1м

РД выполнен на прецизионных резисторах. При установке переключателя в положение 1 коэффициент передачи будет 1, а в положении 2 коэффициент передачи 0,1. Коррекция АЧХ РД осуществляется посредством двух емкостей.

Усилитель ПУ1 выполнен на основе интегрального программируемого усилителя и инвертирующего усилителя. Коэффициент усиления (КУ) первого усилителя изменяется по двухразрядному коду А0, А1 (табл. 1).

Таблица 1. Изменение КУ по двухразрядному коду.

Код управления		Коэффициент усиления K_1
А1	А0	
0	0	1
0	1	2
1	0	5
1	1	10

Второй усилитель ПУ2 выполнен на операционном усилителе работающем в режиме инвертирующего усилителя. Коэффициент усиления второго усилителя устанавливается посредством аналогового коммутатора, переключающего коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи.

Фильтр Ф представляет собой активный ФНЧ второго порядка Бесселя, обладающий линейной ФЧХ и лучшей переходной характеристикой по сравнению с другими типами фильтров. Фильтр построен на основе операционного усилителя, представляющего собой не инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления в полосе пропускания равным 1,268.

Такое построение узлов ИК модуля МПОС-1м позволяет привести уровни напряжения, поступающего на вход ИК, с диапазоном измерения АЦП. Схема эксперимента приведена на рис. 2. В состав экспериментальной установки входят калибратор В1-20, исследуемый ИК и вольтметр В переменного напряжения типа В7-38. Калибратор представляет собой многозначную меру напряжения, состоящую из генератора синусоидального напряжения Г и широкополосного шести декадного индуктивного делителя напряжения ИДН.

Основные технические характеристики калибратора В1-20:

- Диапазон частот выходного напряжения, 0,02 – 200 кГц
- Предел допускаемой основной погрешности, % $\pm[0,18 + 5 \cdot 10^{-5}(U_k/U_x - 1)]$
- Диапазон среднеквадратического значения выходного напряжения, $10^{-5} - 300$ В.

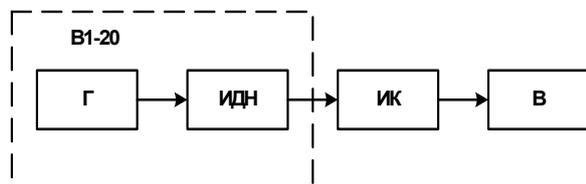


Рис. 2. Схема исследования АЧХ измерительного канала модуля МПОС-1м

АЧХ активного фильтра исследовалась двумя способами. Во-первых, моделированием в системе ORCAD 9.2 и, во-вторых, экспериментально по схеме, приведенной на рис. 3.

Опыт разработок АФНЧ показывает, что при выборе прецизионных элементов фильтра с номиналами, соответствующими расчетным значениям, результаты моделирования и натурных испытаний отличаются незначительно. При проведении испытаний использовались те же средства измерений, что и при снятии АЧХ ИК.

Таблица 2. АЧХ активного фильтра низких частот (при $U_{вх} = 0,79$ В)

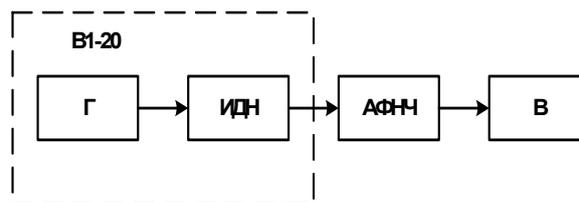


Рис. 3. Схема исследования АЧХ АФНЧ модуля МПОС-1м

Результаты натурных испытаний приведены в табл. 2. В таблице 2 курсивом выделены значения напряжений АФНЧ, соответствующие частотам 50 кГц, 100 кГц, 150 кГц и 200 кГц. Отличие этих числовых значений от теоретического значения на частоте среза 0,707 не превышает 0,5 %. Спад АЧХ за полосой пропускания равен 11 дБ/октаву. Разрядность АЦП задана по техническому заданию. Поэтому выбор АЦП заключается в определении минимальной частоты преобразования $f_{пр}$. При известной максимальной частоте спектра входного напряжения f_m и максимальной приведенной погрешности γ_m частоту преобразования можно найти из формулы

$$f_{пр} \geq \frac{2,2 \cdot f_m}{\sqrt{\gamma_m}}$$

Заметим, что данное выражение справедливо при линейной аппроксимации восстанавливаемого сигнала. При $\gamma_m = 1\%$ $f_{пр} = 22 f_m$ [3].

Выходное напряжение фильтра	Частота, кГц								Код управления	
	0,02	1	10	20	50	100	150	200	А5	А4
$U_{вых1}$, В	1,002	1,001	0,990	0,950	0,708	0,321	0,162	0,090	0	0
$U_{вых2}$, В	1,002	1,001	0,999	0,990	0,925	0,710	0,480	0,310	0	1
$U_{вых3}$, В	1,002	1,002	1,000	0,996	0,970	0,870	0,709	0,540	1	0
$U_{вых4}$, В	1,002	1,002	1,001	0,998	0,982	0,930	0,830	0,710	1	1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизов Э.А. Казахстанский материаловедческий токамак КТМ и вопросы термоядерного синтеза / Э.А. Азизов, В.С. Тажибаева. – Алматы, 2006.
2. Павлов В.М. Программное обеспечение системы управления источниками питания обмоток магнитного поля установок типа ТОКАМАК / В.М. Павлов, К.И. Байструков, А.А. Сьянов, О.С. Пивоваров, И.Л. Тажибаева // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007.
3. Lister J.B. The Control of TOKAMAK Configuration Variable Plasmas / J.B. Lister [et al.] // Fusion Technology. – 1997. – Vol. 32, N 3.

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Бурганова С.Я.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: sufiya@inbox.ru

Перспективы современного приборостроения связаны с созданием приборов, обладающих малыми массами, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью.

С 60-х годов XX столетия начались научно-технические разработки в области миниатюрных датчиков и исполнительных устройств различного назначения на базе кремния – основного материала микроэлектроники.

Прогресс в области микроэлектроники привел к появлению микромеханических устройств, выполненных с использованием технологий электронной промышленности. Применение таких устройств для измерения параметров движения подвижных объектов различного назначения ознаменовало значительные изменения в инерциальной технике[1].

Микромеханические датчики обладают сверхмалыми габаритами, малой массой и энергопотреблением. Имеют как цифровые, так и аналоговые выходы; кроме того, многие датчики стали промышленным стандартом в электронике.

МЭМС делят на два типа: сенсоры – измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и актюаторы (исполнительные устройства) – системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные воздействия[2].

Можно выделить несколько применений МЭМС, получивших наиболее широкое распространение (рисунок 1).



Рис. 1. Классификация МЭМС

Микрозеркала (рисунок 2). Устройства, использующие системы подвижных зеркал шириной всего 10 микрон предложила компания Texas Instruments. Угол наклона каждого зеркала независимо управляется МЭМС-устройством, благодаря чему можно либо отражать, либо блокировать свет. Подобные системы используются в проекторах для графических презентаций.

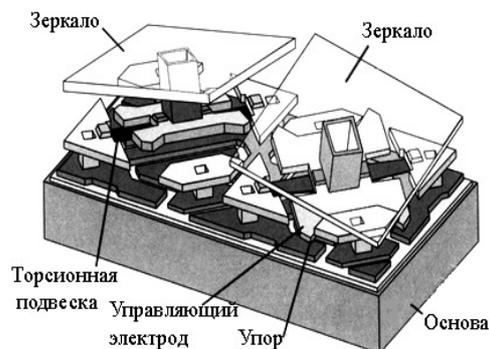


Рис. 2. Схема микрозеркала

Микрокапиллярные устройства Кремниевые чипы с микроскопическими каналами могут быть использованы для адресной внутренней доставки контролируемых количеств лекарственных препаратов. В частности, специально для больных сахарным диабетом было разработано интегрированное МЭМС-устройство, объединяющее сенсор на глюкозу и диспергатор инсулина. Микрокапиллярные устройства на основе МЭМС могут использоваться в струйных принтерах для нанесения чернил на бумагу.

Биомедицинские имплантаты. Недавно были созданы кремниевые МЭМС-устройства, содержащие звуковой сенсор и микропроцессор, который раскладывает звуковые волны на Фурье-гармоники. Устройство имплантируется непосредственно в человеческое ухо, после чего полученные Фурье-компоненты напрямую передаются слуховому нерву. В настоящее время разрабатываются аналогичные устройства для восстановления зрения[3].

Также одним из применений в медицине является использование микромеханических пинцетов с размером в микрометры.

К инерциальным микромеханическим датчикам относятся акселерометры и гироскопы.

Наиболее коммерчески успешными устройствами на основе МЭМС в настоящее время являются миниатюрные устройства для измерения ускорений – акселерометры (рисунок 3). В частности, их широко используют в устройствах, контролирующих раскрытие подушек безопасности в автомобилях при авариях.

Среди разнообразных датчиков, выпускаемых фирмой Analog Devices, особое место занимают микромеханические датчики iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System). Более десяти лет назад компания Analog Devices приступила к изготовлению электромеханических устройств на кристалле кремния с помощью данной технологии.

Первые образцы полностью интегрированных однокристалльных датчиков ускорения (акселерометров) iMEMS были выпущены в 1991 году.

Изначально акселерометры iMEMS были разработаны специально для систем безопасности автомобилей, где они применялись для детектирования столкновений и активации подушек безопасности; сегодня же эти акселерометры применяются в качестве инерциальных датчиков в самых разных областях.

Особое внимание уделяется разработке микромеханических гироскопов (ММГ) как наиболее трудоемких в технологическом и интеллектуальном плане изделий.

ММГ находят применение в автомобильной промышленности, при создании нового поколения навигационного оборудования, в разработках робототехнических устройств и спортивного снаряжения, в медицинской промышленности, в смартфонах.

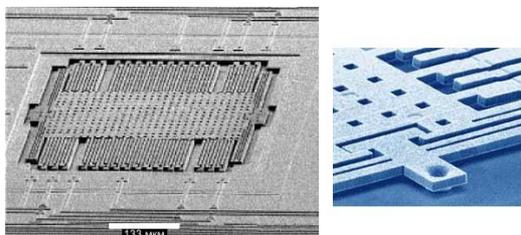


Рис. 3. МЭМС акселерометр

В 2002 году фирма Analog Devices впервые в мире приступила к производству интегральных гироскопов на базе технологии iMEMS.

ММГ представляют собой датчики угловой скорости, точность которых характеризуется погрешностью измерения угловой скорости.

По виду первичных и вторичных колебаний, их можно разделить на виды:

- LL-гироскопы;
- RR-гироскопы;
- LR-гироскопы.

Датчик угловой скорости (рисунок 4) – гироскоп представляет собой интегральную микросхему; он выполнен на одном кристалле кремния и включает в себя все необходимые электронные схемы формирования сигнала.

Две микромеханические структуры из поликристаллического кремния снабжены специальными возбуждающими рамками, которые вызывают гармонические колебания.

Колебания микромеханических элементов имеют достаточно высокую частоту и амплитуду, чтобы при угловом вращении прибора сила Кориолиса, действующая на эти элементы, достигала заметной величины.

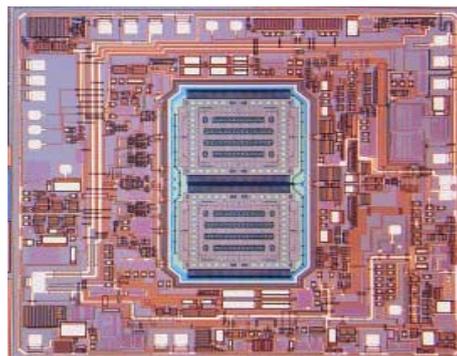


Рис. 4. Внешний вид кристалла гироскопа iMEMS при большом увеличении

По краям каждой колеблющейся рамки, перпендикулярно направлению колебаний, расположены подвижные зубцы, которые чередуются с неподвижными зубцами. Таким образом, образуется структура, емкость которой меняется в соответствии с величиной силы Кориолиса.

Полученный с емкостного датчика высокочастотный сигнал поступает на каскады усиления и демодуляции, в итоге на выходе микросхемы мы получаем сигнал напряжения, пропорциональный угловой скорости.

Наличие внутри микросхемы двух перпендикулярно расположенных однотипных датчиков позволяет избежать влияния на выходной сигнал гироскопа вибрации и ускорения.

В составе микросхемы присутствует датчик температуры для осуществления калибровки устройства и компенсации погрешности, вызванной изменением температуры, также на кристалле имеется прецизионный источник опорного напряжения[4].

Несмотря на свойства, которыми обладают датчики, такими как сверхмалые габариты, малой массой и энергопотребление, идут работы по улучшению их точности. Продажи датчиков во всем мире оцениваются в миллиарды долларов.

Литературы:

1. В.Я. Распопов – Микромеханические приборы, 2007.-400с. С10-14.
2. MEMS- microelectromechanical-systems-Part 1.URL: <http://www.3dnews.ru/editorial>
- 3.Nanoazbuka_54965.URL:<http://www.nanometer.ru/2008/12/18>
4. Алексей Власенко - Интегральные гироскопы iMEMS – датчики угловой скорости фирмы Analog Devices -,6с

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ТЕНЗОМЕТРИИ

Бурков М.В., Любутин П.С., Бяков А.В.

Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4

E-mail: burkovisps@mail.ru

Введение. В изделиях и конструкциях из волокнистых композиционных материалов (КМ) зачастую дефекты зарождаются в процессе эксплуатации и имеют крайне малый размер, поэтому актуальным представляется разработка новых или адаптация существующих методов неразрушающего контроля (контроля состояния), способных выявлять повреждения такого рода (и размера). Перспективным методом, позволяющим регистрировать процессы формирования несплошностей в КМ в процессе нагружения (эксплуатации) является метод акустической эмиссии (АЭ). Активные исследования по совмещенному изучению деформационного поведения и разрушения конструкционных материалов проводятся в СибНИА им. Чаплыгина (г. Новосибирск) [1], где совместно применяются приборы для регистрации АЭ и тензометрии.

Помимо выбора *in situ* методов исследования деформации актуальным является вопрос выбора информативных параметров, адекватно характеризующих развитие процессов деформации и разрушения. В качестве таких параметров для метода АЭ использовали активность акустической эмиссии (количество сигналов, зарегистрированных в единицу времени); для метода DIC - интенсивность деформации сдвига (ИДС), для тензометрии – (производную внешнего приложенного напряжения по деформации).

Отметим, что подобную постановку задачи исследований использовали в наших предыдущих работах, где испытывали на растяжение образцы с отверстием и надрезом [2]. Были показаны характерные стадии изменения информативных параметров, а также характерные отличия для разных *in situ* методов исследования деформации..

Материал и методика исследований. В работе применяли комбинированный метод для исследования процессов локализованной деформации в образцах из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) с различными размерами КН – 2-мя V-образными надрезами глубиной 3, 4 и 5 мм. Применение одновременной регистрации несколькими методами позволило проследить и сравнить регистрируемые параметры на протяжении всего времени эксперимента. На рис. 1 приведена схема образцов (толщина 4 мм). Материал представляет собой псевдоизотропный композит из слоев однонаправленных углеродных лент [45°, -45°, 0°, 90°] в углеродной матрице. Размеры

образцов выбраны в соответствии со стандартом ASTM D5379.

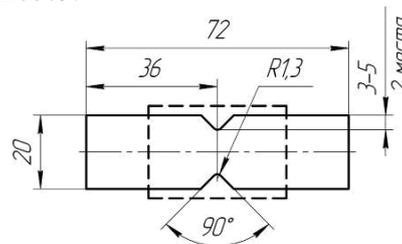


Рис. 1. Чертеж образца, штриховой линией показана область, выделяемая для построения поля векторов перемещений.

Образцы испытывали на срез с помощью приспособления, предлагаемого в стандарте ASTM D5379, со скоростью 0,1 мм/мин. Данные тензометрии регистрировали с использованием штатного оборудования испытательной машины (встроенного тензодатчика). Регистрацию АЭ осуществляли с помощью программно-аппаратного измерительного комплекса регистрации сигналов АЭ на базе ПК [3]. В качестве основного информативного параметра данных АЭ рассчитывали производные от накопления сигналов АЭ по времени (активность акустической эмиссии $\dot{N}_\Sigma = dN_\Sigma / dt$). Фотографирование поверхности осуществляли с помощью фотокамеры Canon EOS 550D, оснащенной длиннофокусным объективом Canon EF-S 100-400 mm f/4.5-5.6 IS. Размеры области для расчета интенсивности деформации сдвига выбирались с учетом того, чтобы гарантировано наблюдать всю область образца, в которой протекают процессы деформации и разрушения.

Результаты экспериментов. На рис. 2 приведена диаграмма нагружения для образца с высотой V-образного надреза 3 мм, а также зависимость производной внешнего деформирующего напряжения по степени деформации $d\sigma / d\varepsilon = f(\varepsilon)$. Вертикальными линиями на рисунке обозначены границы стадий, выделенных по графику производной $d\sigma / d\varepsilon = f(\varepsilon)$: выбор последних основывался на кусочно-линейной аппроксимации; при этом границы стадий соответствуют точкам изменения наклона касательной.

Сопоставление экспериментальных результатов для образцов с разной высотой надреза позволяет выделить следующие закономерности:

увеличение размера надреза обуславливает небольшое увеличение относительного удлине-

ния до разрушения, в то время карамме нагружения.

с ростом глубины надреза скорость снижения зависимости производной $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ на стадии III снижается.

В дальнейшем результаты, полученные методами АЭ и DIC, сравнивали со стадийностью по данным тензометрии, как наиболее достоверного способа интегральной напряженности остаются примерно одинаковыми. Т. е. изменение размера надреза (концентратора напряжений) практически не сказывается на диаг оценки изменения напряженно-деформированного состоянии нагруженных образцов.

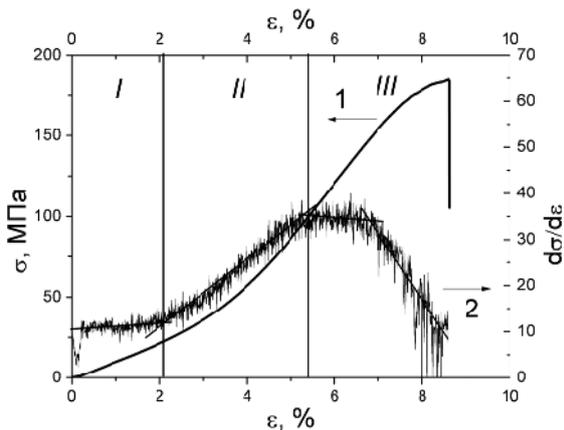


Рис. 2. Диаграмма нагружения (1) и график производной внешнего деформирующего напряжения по деформации $d\sigma/d\varepsilon$ (2).

Анализ распределений деформаций на мезомасштабном уровне проводили путем обработки изображений интегральным и дифференциальным методом. На рис. 3 (кривая 3) показана зависимость интенсивности деформации сдвига $\gamma_{\text{диф}}$, полученная при анализе изображений дифференциальным способом для образца с высотой надреза 3 мм.

В соответствии с методиками анализа данных тензометрии и корреляции цифровых изображений были обработаны данные регистрации акустической эмиссии, которые трактовали в терминах активности АЭ $dN_{\text{АЭ}}/dt$ (рис. 3, кривая 2). Полученные точки усреднили гладкой кривой. Видно, что генерация сигналов акусто-эмиссии начинается практически одновременно с началом снижения графика производной $d\sigma/d\varepsilon$ перед разрушением.

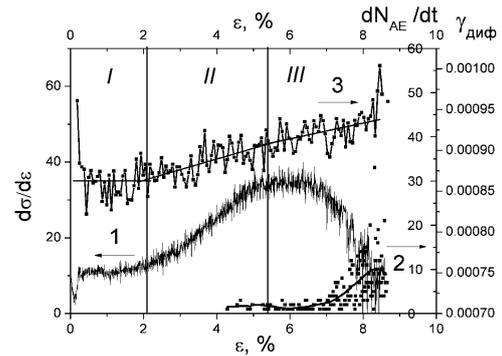


Рис. 3. Совмещенные графики производной $d\sigma/d\varepsilon$ (1), активности АЭ $dN_{\text{АЭ}}/dt$ (2) и интенсивности деформации сдвига $\gamma_{\text{диф}}$ (3), рассчитанной дифференциальным способом, надрезы 3 мм.

Выводы. С точки зрения одновременного использования данных, получаемых всеми тремя методами, можно заключить, что: а) метод акустической эмиссии обладает высокой чувствительностью и способностью характеризовать процессы, происходящие в объеме материала; б) тензометрия интегрально характеризует макроотклик образца и наглядно позволяет определить переход от одной стадии деформирования к последующей; в) метод корреляции цифровых изображений требует использования большего разрешения оптической системы и позволяет визуализировать деформационные процессы, развивающиеся во внешнем слое с получением численной оценки локальной деформации.

Таким образом, использование предложенного комбинированного подхода является перспективным и взаимодополняющим методом исследования УУКМ. Дальнейшее развитие этого способа изучения деформационного поведения, в том числе в приложении к НК связано с применением его для усталостных испытаний волокнистых КМ.

Список литературы:

1. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Тихонравов А.Б. и др. Использование метода акустической эмиссии и тензометрии при проверке остаточной прочности самолета. – Дефектоскопия, 2008, №2, с. 28-35.
2. С.В. Панин, М.В. Бурков, А.В. Бяков, и др., Исследование локализованной деформации при нагружении образцов из углерод-углеродного композиционного материала с различными концентраторами напряжений по данным акусто-эмиссии, метода корреляции цифровых изображений и тензометрии. – Перспективные материалы. Специальный выпуск (13), т.1. 2011. с. 129-138.
3. Panin S.V., Byakov A.V., Kuzovlev M.S. et al. «Testing of automatic system for registration, processing and analysis of acoustic emission data by model signals». Proceedings IFOST'2009, 21-23 October, 2009, Ho Chi Ming City, Vietnam, Vol. 3, p. 202-206.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ ВЕТРА, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ВЕТРОУСТАНОВКАХ

Васильев Е.Н.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 3
E-mail: egor_vassilyev@bk.ru

Современная техническая политика ветроэнергетики активно направлена на использование возобновляемых источников энергии, поскольку запасы нефти, угля и газа не беспредельны. По расчетам специалистов, при нынешних объемах добычи угля на Земле хватит на 400 – 500 лет, а нефти и газа – максимум на столетие. Опустошение земных недр и сжигание топлива пагубно сказывается на экологии планеты. Чем быстрее будет истощаться запас сырья, тем быстрее будет возрастать цена на него. Одним словом, перед человечеством стоит задача максимально освоить экологически чистые и возобновляемые источники энергии.

Ветер является одним из наиболее мощных источников энергии и может использоваться в народном хозяйстве в значительно больших масштабах, если применить оптимальную конструкцию ветроколеса.

В настоящее время широкое распространение получили ветрогенераторы с вертикальной осью вращения (ВВО). Они имеют ряд преимуществ перед традиционными ветрогенераторами с горизонтальной осью (ВГО), а именно:

- всенаправленны, т.е. успешно работают при любом направлении ветра;
- занимают меньшую площадь;
- имеют высокие обороты при низкой скорости ветра;
- имеют простую конструкцию, которая не нуждается в высоких мачтах и растяжках, редукторах (генератор можно установить прямо на оси ротора).

Конечно же, главным преимуществом ВВО против ВГО является относительно низкий уровень шума и отсутствие вредных вибраций, что позволяет устанавливать ВВО на крышах жилых домов, зданий и других сооружений.

Примерами наиболее перспективных систем аккумуляции энергии ветра могут послужить следующие установки: вертикальная турбина MAGLEV TURBINE, аэрогенератор ветровой турбины, а также дополнительные возобновляемые источники.

Ветровая турбина MAGLEV TURBINE может придать второе дыхание ветроэнергетике, т.к. с ее помощью можно получить максимальную мощность электроэнергии около 1 ГВт. Ее модель имеет вид высотного здания, и в соотношении к величине мощности, имеет малую величину. Принцип ее действия основан на всестороннем максимальном заборе ветра, а также использовании магнитной левитации в опорах ветроустановки, что суще-

ственно уменьшает трение и износ вращающихся элементов установки (рисунок 1).



Рис. 1. Ветровая турбина MAGLEV TURBINE

Аэрогенераторы ветровой турбины производятся британской фирмой WINDPOWER. Это гигантские V-образные структуры около 144 метров в высоту. Они устанавливаются в море и способны генерировать до 9 МВт электроэнергии – в 3 раза больше обычных ветроустановок. Генерация также может происходить при скорости ветра более 110 м/с (рисунок 2).

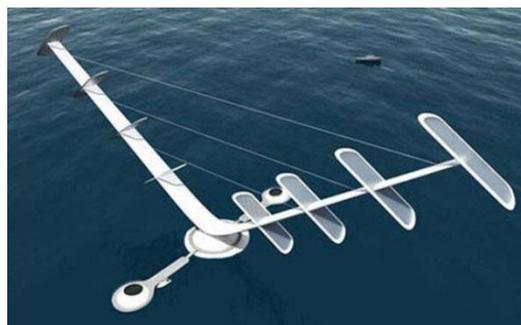


Рис. 2. Аэрогенератор ветровой турбины

Дополнительные возобновляемые источники энергии, устанавливаемые поперек автобанов, также могут послужить хорошей службой, т.к. энергия производится благодаря автомобилям, которые сами являются потребителями энергии (рисунок 3).



Рис. 3. Ветряные турбины, устанавливаемые поперек автобанов

Такие турбины рассчитаны на питание от движения ветра, вызванного проезжающими автомобилями со скоростью 100 км/ч и выше. Каждая отдельная ветряная турбина, как ожидается будет отличаться мощностью 9,6 кВт/ч энергии ежегодно, даже если средняя скорость ветра будет в пределах 16 км/ч. Этой энергии будет достаточно, чтобы осветить, к примеру, квартиру площадь 700 квадратных метров.

В ходе выполнения проектирования перспективной системы улавливания энергии ветра, были приняты во внимание вышеизложенные достоинства ВВО. Окончательным вариантом решения стал гибридный ветрогенератор с вертикальной осью вращения ротора (рисунок 4).



Рис. 4. Гибридный ветрогенератор

Установка включает в себя сочетание ротора Дарье и двурядного четырехлопастного ротора. В нашем случае ротор Дарье представляет собой конструкцию, состоящую из трех аэродинамических крыльев, закрепленных на концах ротора. Применение в конструкции ветроустановки ротора Дарье обусловлено следующим:

- работа не зависит от направления ветра, следовательно, турбина не требует устройства ориентации;

- ротор Дарье характеризуется высоким коэффициентом быстроходности при малых скоростях потока и высоким коэффициентом использования энергии потока: площадь, ометаемая крыльями

ротора может быть выполнена достаточно большой.

Однако к недостаткам ротора Дарье относятся плохой самозапуск и низкая механическая прочность.

Компенсация этих недостатков осуществляется четырехлопастным ротором, который имеет относительно небольшую скорость страгивания ротора. Сочетание КПД двух роторов позволяет увеличить габариты оси и опор ротора, что увеличит механическую прочность ветроустановки.

Каждый ярус лопастей образует в пространстве ротор Савониуса и работает следующим образом (рисунок 5).

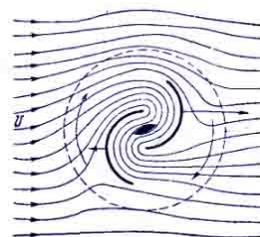


Рис. 5. Работа ротора

Оси лопастей первого и второго ярусов расположены под углом 90° в горизонтальной плоскости. Ветровой поток, попадая на рабочие поверхности, разделяется на две составляющие. Одна из них рабочая, другая – паразитная. Паразитная часть ветрового потока вызывает торможение ротора, оказывая, таким образом, сопротивление вращению. Рабочая составляющая, в свою очередь, состоит из двух ветровых струй, одна из которых сразу попадает на вогнутую поверхность лопасти и совершает полезную работу. Другая часть сначала давит на выпуклую часть лопасти. Когда лопасти одного яруса поворачиваются и начинают выходить из ветрового потока, в работу вступает следующий ярус.

В настоящий момент рассматриваются варианты замещения опорного подшипника на магнитный, т.е. применение, так называемой, магнитной левитации, с целью повышения надежности опор ветроустановки.

Литература:

- 1.Сергеев В.Д., Кулешов Е.В., Автономная ветроэнергетическая установка малой мощности. Структура и режимы работы./Труды ДВГТУ. Вып. 128, Владивосток 2000.С. 138-142.
- 2.Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учебное пособие/ А.А.Бурмистров, В.И. Виссарионов и др.; под ред. В.И. Виссарионова – 2-е изд., стер. – М.: 2009. – 144 с.: ил.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ И БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ

Вахрушев Д.В.

Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vdv.18@mail.ru

В обширной номенклатуре бурильных труб ведущее место занимают трубы стальные с приваренными замками. Конструктивно такие трубы состоят из трех элементов: тела трубы и двух замков – муфты и ниппеля, приваренных к телу трубы методом сварки трением. Важной характеристикой сварных соединений бурильных труб, в значительной мере определяющей трудоемкость и точность бурения, срок службы бурового оборудования является соосность приваренных замков и тела трубы.

В соответствии с [1] контроль соосности заключается в измерении при вращении трубы радиальных биений замковой части трубы относительно оси тела бурильной трубы в двух сечениях, первое из которых расположено вблизи сварного соединения, а второе – вблизи торца замковой части трубы. Параллельное a_1 , мм и угловое a_2 , мм/100мм отклонения от соосности определяются по формулам:

$$a_1 = \frac{\delta_1}{L}, a_2 = \frac{\delta_2 - \delta_1}{L} \cdot 100 \quad (1)$$

где δ_1 – биение в сечении 1, мм; δ_2 – биение в сечении 2, мм; L – расстояние между сечениями, мм.

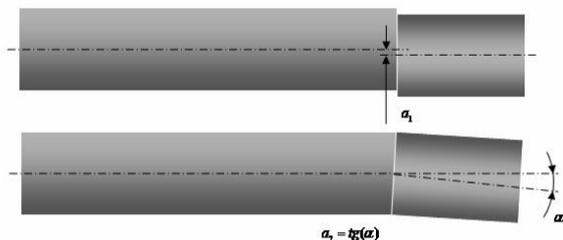


Рис.1. Отклонение от соосности приварных замков и тела трубы: a_1 – параллельное отклонение от соосности, a_2 – угловое отклонение от соосности.

В целях автоматизации процесса измерения соосности на кафедре информационно-измерительной техники ТПУ разработана система контроля соосности СКС 10.02 [2]. В производственных условиях система контроля устанавливается на линии изготовления бурильных труб на участках сварки трением, температурного отпуска сварного соединения, технического контроля готовой продукции.

Основными функциями системы контроля являются измерение значений параллельного и углового отклонений от соосности сварного соединения, сравнение их с предельно допустимыми, а также индикация, хранение и передача в информационную сеть результатов измерения и контроля.

Двухлетний период успешной эксплуатации системы контроля в трубном цехе ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург) подтвердил

ее высокие технические характеристики, однако выявил и необходимость дальнейшей модернизации системы с целью повышения надежности и удобства проведения операций контроля.

Постановка задачи

Основными направлениями модернизации системы контроля являлись замена кабеля связи измерительного и электронного блоков системы контроля на беспроводный интерфейс, а также замена контактных преобразователей биений трубы (цифровых индикаторов часового типа) на бесконтактные магнитные взаимоиндуктивные измерительные преобразователи.

Описание метода и средств контроля

На рисунке 2 приведена структурная схема модернизированной системы контроля соосности СКС-04. Система контроля содержит два основных блока: измерительный блок (ИБ) с установленными на нем взаимоиндуктивными преобразователями расстояния до поверхности трубы (ИП₁ и ИП₂) и электронный блок (ЭБ) с подключенными к нему периферийными устройствами – монитором (Мр), клавиатурой (Кл) и мышью (М). Измерительный и электронный блоки соединены между собой радиоканалом связи (РКС).

Измерение отклонений от соосности осуществляется следующим образом. Измерительный блок устанавливается на контролируемую бурильную трубу в месте стыка тела трубы и ее замковой части. В процессе измерения осуществляется вращение трубы на ножевых вращающихся опорах. Измерительный блок при вращении трубы удерживается на месте, но остается в постоянном контакте с поверхностью тела трубы через опорные подшипники.

Выходной сигнал взаимоиндуктивного преобразователя x определяется в этом случае суммой начального показания x_0 , которое определяется начальным расстоянием (зазором) между преобразователем и поверхностью трубы до начала вращения трубы и приращения Δx , обусловленного изменением расстояния между преобразователем и поверхностью трубы вследствие возможной несоосности замковой части трубы относительно оси тела трубы.

Выходные сигналы первого и второго преобразователей x_1 и x_2 преобразуются контроллером измерительного блока и передается по радиоканалу связи (РКС) на вход электронного блока ЭБ.

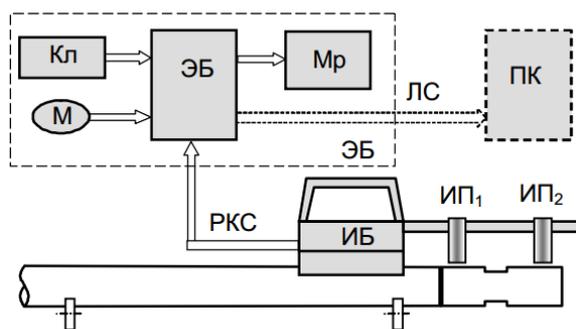


Рис.2. Структурная схема системы контроля соосности СКС-04.

В электронном блоке, основой которого является персональный компьютер (ПК) с периферийными устройствами, осуществляется запись массивов значений сигналов x_1 и x_2 , соответствующих различным углам поворота контролируемой трубы в диапазоне от 0° до 360° , и определение минимальных $x_{1\min}$ и $x_{2\min}$ и максимальных $x_{1\max}$ и $x_{2\max}$ значений сигналов из этих массивов.

Значения радиальных биений в первом и втором сечениях замковой части трубы δ_1 и δ_2 определяются следующим образом:

$$\delta_1 = x_{1\max} - x_{1\min}, \quad \delta_2 = x_{2\max} - x_{2\min}, \quad (2)$$

Далее производится вычисление значений параллельного a_1 и углового a_2 , отклонений от соосности по формулам (1) и сравнение полученных значений с предельно допустимыми.

Для обработки сигналов измерительной информации, ее хранения и визуализации, осуществляемых в электронном блоке, использованы, та же программа и пользовательский интерфейс оператора, что и в системе контроля СКС 10.02 [2].

Как было отмечено ранее, одним из направлений модернизации системы контроля являлась замена проводной связи измерительного и электронного блоков беспроводной. Выбор технологии беспроводной связи был сделан в пользу спецификации Bluetooth. Использование Bluetooth позволяет получить универсальный интерфейс доступа к прибору с коммуникаторов, персональных и планшетных компьютеров, с телефонов, а так же упростить разработку программной части аппаратного блока, тем самым затрачивая меньше времени и средств на отладку и внедрение в прибор. Так же к плюсам готовых модулей беспроводной связи Bluetooth, можно отнести аппаратную реализацию защиты от помех, малое потребление, встроенный протокол связи, большой набор программных средств и документации для разработки программного обеспечения.

Для использования в системе, был выбран Bluetooth модуль WT12, который имеет встроенный контроллер, позволяющий произвести настройку модуля под конкретную реализацию прибора.

Радиус действия используемого модуля составляет 15–20 м.

Другим направлением модернизации системы контроля являлась замена контактных преобразователей биений трубы в электрический сигнал на бесконтактные взаимдуктивные измерительные преобразователи, погрешность преобразования которых в значительной мере определяет погрешность измерения отклонений от соосности. На рисунке 3 схематично показана конструкция используемого взаимдуктивного преобразователя.

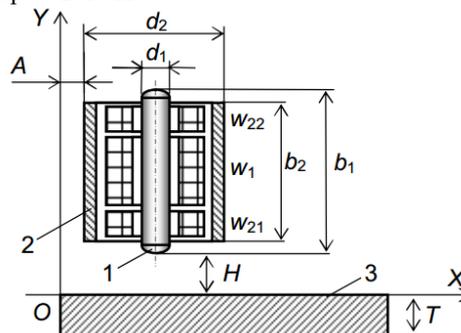


Рис.3. Конструкция взаимдуктивного преобразователя[3].

Составными элементами взаимдуктивного преобразователя являются обмотка возбуждения w_1 , измерительная обмотка с двумя встречно включенными секциями w_{21} и w_{22} , а также ферромагнитный сердечник 1 и ферромагнитный цилиндрический экран 2, образующие магнитную цепь преобразователя. Практически неиспользуемый в аналогичных по назначению и конструкции преобразователях магнитных толщиномеров цилиндрический экран необходим в данном случае для исключения влияния находящихся в окружении преобразователя металлических деталей (например, элементов крепления).

Заключение

Использование исследований и введенных изменений в конструкцию прибора, описанных в работе, позволило существенно повысить эксплуатационные характеристики системы контроля соосности.

Список литературы

- ГОСТ Р 51245-99 «Трубы бурительные стальные универсальные. Общие технические условия».
- Гольдштейн А.Е., Якимов Е.В. Измерение отклонения от соосности сварных соединений бурительных труб. // Ползуновский вестник, 2011, № 3, с. 65-69.
- Д.В. Алимов, Д.В. Вахрушев, А.Е. Гольдштейн, Е.В. Якимов. Бесконтактная система контроля соосности с беспроводным интерфейсом. // Ползуновский вестник, 2010, № 2, с. 136-140.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭКСПРЕС ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Винтоняк Н.П., Федотов В.А., Семенов В.Д.

Научный руководитель: Федотов В.А., зав. лаб., Семенов В.Д., доцент

ТУСУР, ФЭТ, 634034, Россия, г. Томск, ул. Вершинина, 74

E-mail: nic-nic91@yandex.ru

При конструирование новых электронных приборов разработчик сталкивается с задачей учета ухода параметров радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) под воздействием положительных и отрицательных температур. Несмотря на то, что предельные уходы параметров элементов от температуры указаны в их технических описаниях, однако расчет этого влияния на работоспособность РЭА представляет собой сложную и трудоемкую задачу и обычно проводится на этапе экспериментальных испытаний макета или опытного образца.

Наиболее точные результаты влияния температуры на работу схемы дают эксперименты проводимые в климатических камерах [2]. Современные климатические камеры имеют возможность охлаждать испытуемый прибор до -70°C и нагревать до температуры $+150^{\circ}\text{C}$. При этом имеется возможность изменять влажность окружающей среды, а также проводить циклические испытания РЭА. Основными недостатками проведения экспериментов с использованием климатической камеры являются невозможность оперативно изменять точки измерения тока и напряжения в различных узлах схемы.

К контролируемым точкам схемы припаиваются длинные проводники, которые

выводятся из камеры через специальные отверстия и подключаются к измерительным приборам находящимся вне камеры (осциллографам, вольтметрам, амперметрам и т.д.). При этом поиск неисправностей возникающих при охлаждение прибора является затратным по времени т.к. при каждом изменении контролируемых точек приходится отогревать прибор в камере, производить монтаж выводимых проводников и снова охлаждать. К тому же длинные проводники вносят свои искажения в измеряемые сигналы.

Использование климатических камер для испытания макета на этапе, когда выявляются отдельные элементы влияющие на температурную нестабильность РЭА неудобно, т.к. температура всех элементов понижается одновременно.

На этом этапе необходим такой прибор который может изменять температуру на каждом элементе РЭА индивидуально. Индивидуальный нагрев элементов в лабораторных условиях может проводится обычной паяльной станцией с контролируемой температурой жала или термофенами. О наличии приборов, позволяющих индивидуально охлаждать элементы РЭА до отрицательных температур непосредственно на плате, нам не известно.

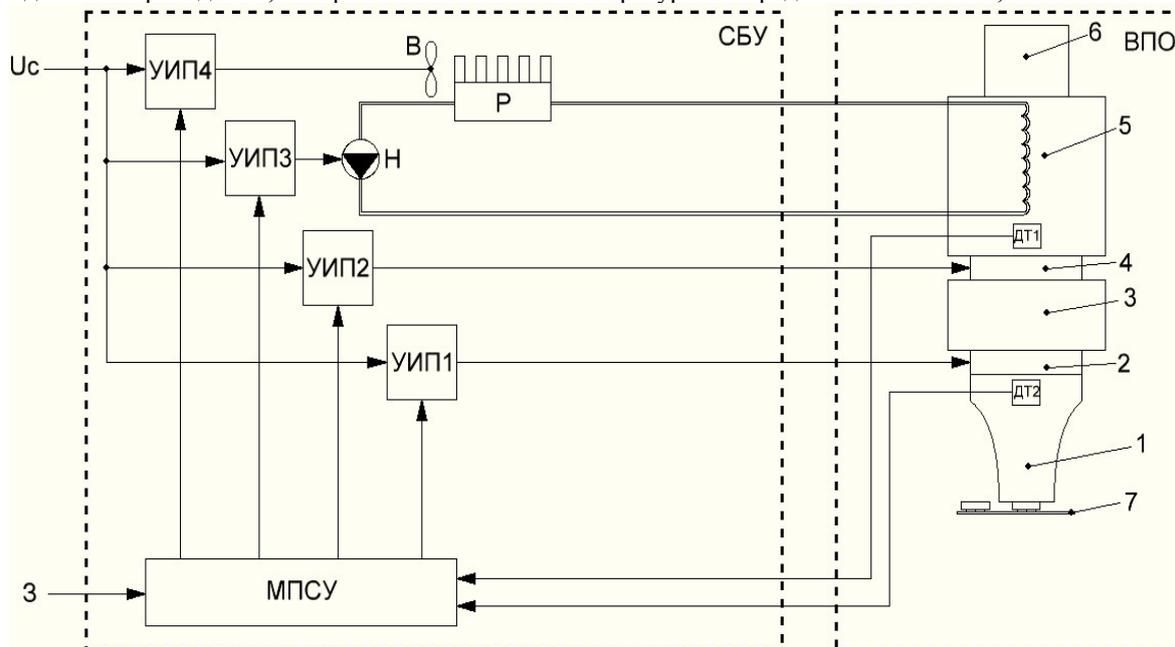


Рис. 1. Схема функциональная устройства для охлаждения элементов РЭА на плате

Локально охлаждение элементов РЭА непосредственно на плате можно осуществить с помощью элементов Пельтье, которые применяются для отвода тепла от мощных процессоров и силовых транзисторов [1].

Функциональная схема предлагаемого прибора приведена на Рис.1.

Устройство локального охлаждения элементов РЭА состоит из двух частей: стационарного блока управления (СБУ) и выносного портативного ох-

ладителя (ВПО), корпус которого изображён на Рис.2.

В ВПО реализована двухкаскадная система охлаждения на основе управляемых элементов Пельтье. Он состоит из сменного жала 1, форма которого определяется конструкцией и размерами охлаждаемого элемента РЭА, элемента Пельтье 2, имеющего хороший тепловой контакт со сменным жалом 1 и теплообменником 3, второго каскада охлаждения. Элемент Пельтье 4 первого каскада соединен с теплообменником 3 второго каскада и теплообменником 5 первого каскада охлаждения. Все названные элементы ВПО помещены в теплоизолированный корпус с ручкой 6 для удобной установки его на охлаждаемый элемент 7.

ВПО соединен с СБУ гибким шлангом для подачи охлаждающей жидкости, силовым кабелем для питания элементов Пельтье и кабелем для снятия сигналов с датчиков температуры ДТ1, установленного на теплообменнике 5 и ДТ2 установленном на жале.

СБУ состоит из управляемых источников питания УИП1 для управления и питания элемента Пельтье 2 второго каскада охлаждения, УИП2 для управления и питания элемента Пельтье 4 первого каскада охлаждения, УИП3 для питания и управ-

ления насосом Н для обеспечения циркуляции охлаждающей жидкости через теплообменник 5 первого каскада и радиатор Р, расположенный в СБУ. Радиатор Р принудительно охлаждается вентиляторов В который управляется от источника УИП4.

Сигналы от датчиков температуры ДТ1 и ДТ2 поступают на информационные входы микропроцессорной системы управления МПСУ. Режим работы ВПО определяется сигналом З, который задается оператором. Управляющие выходы МПСУ соединены с управляющими входами УИП1..УИП4.

Питание СБУ осуществляется от промышленной сети 220В 50Гц.

Таким образом, предлагаемое устройство, может производить локальное охлаждение элементов РЭА для проведения тепловых экспериментов.

Благодаря свойствам элемента Пельтье можно обеспечить не только охлаждение, но и их нагрев элементов РЭА, это достигается путем изменения полярности источников питания.

Предварительный анализ показал, что подобное устройство будет востребовано предприятиями занимающимися разработками РЭА, работающей в жестких климатических условиях.

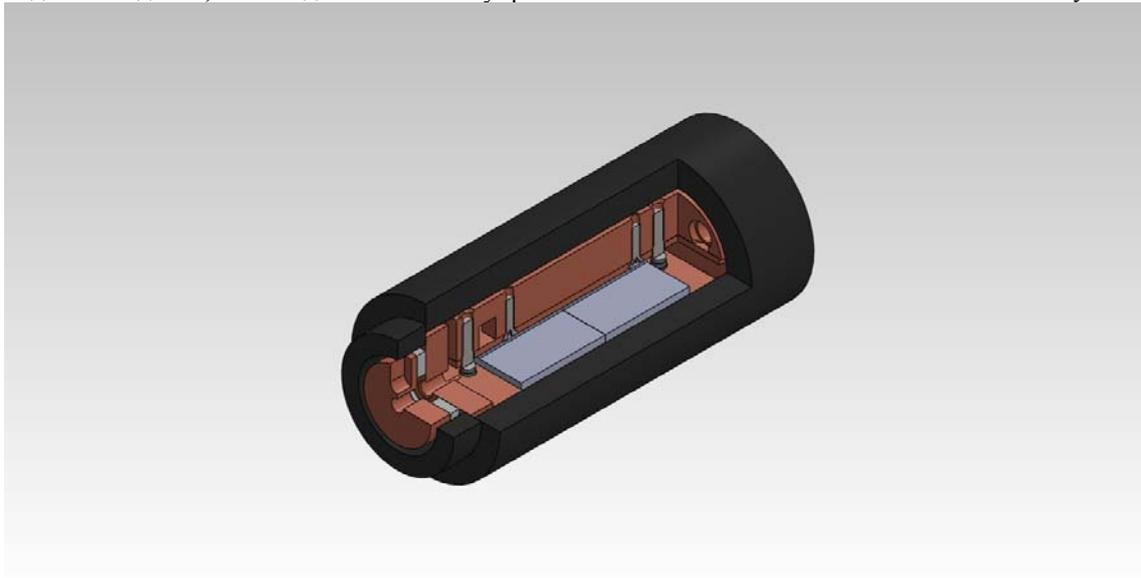


Рис. 2. Корпус ВПО

Список литературы:

1. Патент РФ №2365072. Устройство для охлаждения электронных плат / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Агаев М.У., 2009, бюл.№23.
2. Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, И.А. Габитов. Экспериментальный стенд исследования системы неравномерного охлаждения электронных плат 2009, №3. – С.148-151.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА НАХОЖДЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ КОНСЕНСУСА В МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Воробьева Н. В., Маринушкина И.А.

Научный руководитель: Муравьев С. В., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: natav25@mail.ru

Аннотация

В процессе межлабораторных сличений требуется установить опорное значение измеряемой величины. Для этого необходимо проведение процедуры, которая позволяет определять опорное значение, исходя из результатов, представленных участвующими в сличениях лабораториями, а также исключить результаты тех лабораторий, в интервалы неопределенности которых не входит опорное значение. В статье описан метод который позволяет определить подмножество, состоящее из максимального количества лабораторий, предоставляющих надёжные результаты (т.е. наибольшее совместимое подмножество, НСП). Предлагаемый метод основан на агрегировании предпочтений.

Введение

В последние годы отмечается беспрецедентный рост внимания к проблеме качества продукции и услуг, которое во многом зависит от компетентности испытательных лабораторий.

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», а также с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [1] для обеспечения качества проводимых испытаний продукции, подтверждения и признания достоверности результатов испытаний и калибровки, необходимо проведение межлабораторных сравнительных испытаний (далее МСИ) среди аккредитованных испытательных и калибровочных лабораторий. Эта процедура заключается в организации и проведении оценки одних и тех же или подобных изделий или материалов двумя или несколькими различными лабораториями в соответствии с заранее установленными условиями.

Условия нахождения наиболее совместимого подмножества

Основной задачей проведения межлабораторных сличений, при подтверждении квалификации лабораторий, является установление опорного значения измеряемой величины x_{ref} и ее интервала неопределенности. Для этого лаборатории, участвующие в сличении, измеряют значение одной и той же величины Y :

$$Y = X_i, i = 1, \dots, N,$$

где X_i – значение величины, измеренное i -ой лабораторией,

N – количество участвующих в сличении лабораторий.

Значение оценки y и соответствующей ей неопределенности $u(y)$ рассчитывают по формулам (1) и (2) соответственно:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{N'} x_i}{\sum_{i=1}^{N'} u(x_i)^2} \quad (1)$$

$$u(y) = \sqrt{1 / \sum_{i=1}^{N'} \frac{1}{u(x_i)^2}}, \quad (2)$$

где N' – номер лаборатории, результаты которой являются надёжными.

Из уравнений (1) и (2) следует, что процедура установления опорного значения должна обеспечить возможность сформировать НСП из максимального количества участвующих в сличении лабораторий. При этом лаборатории с ненадёжными результатами из процедуры сличения следует исключить. Решение об исключении лабораторий принимается при выполнении следующего условия:

$$E_n = \frac{|x_i - x_{ref}|}{\sqrt{u(x_i)^2 + u(y)^2}} > 1$$

Методы решения данной задачи описываются во многих публикациях. Например, в [2] предлагается процедура определения наибольшего совместимого подмножества алгебраическим методом. В статье [3] предложено рассматривать интервал неопределенности $u(x_i)$ как прямоугольное распределение и полагать что каждая лаборатория «голосует» за каждое значение в пределах предоставленного ею интервала неопределенности. Это позволило получить алгоритм, который выявляет лаборатории, предоставляющие надёжные результаты. Применение агрегирования предпочтений к проблеме организации межлабораторных сличений впервые опубликовано в [4].

Метод агрегирования предпочтений

Обозначим интервал неопределенности $[-u(x_i), u(x_i)]$, полученный i -ой лабораторией через I_i . Определим диапазон опорных значений измеряемой величины как алгебраическое объединение интервалов неопределенностей, полученных каждой лабораторией:

$$U = \bigcup_{i=1}^N [-u(x_i), u(x_i)] = \bigcup_{i=1}^N I_i$$

Разобьем этот диапазон на $n-1$ равных поддиапазонов и получим n значений измеряемой вели-

чины $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, соответствующих границам поддиапазонов. Эти значения выполняют роль альтернатив при определении отношения консенсуса. Лаборатории при этом выступают в качестве избирателей.

Составим профиль предпочтений Λ , который будет состоять из ранжирований, описывающих интервал неопределенности каждой лаборатории. Ранжирование является объединением бинарных отношений строгого предпочтения и эквивалентности и обладает следующими свойствами:

- 1) $a_i \succ a_j$, если $a_i \in I_k$ и $a_j \notin I_k$,
- 2) $a_i \sim a_j$, если $a_i, a_j \in I_k$ или $a_i, a_j \notin I_k$.

Наша цель состоит в том, чтобы определить единственное отношение предпочтения, которое является обобщенной характеристикой всех альтернатив (значений a_1, a_2, \dots, a_n). С помощью медианы Кемени [5] можно определить расстояние $D(\beta, \Lambda)$ между β и профилем Λ и сформулировать проблему определения отношения консенсуса как:

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda),$$

где $D(\lambda, \Lambda) = \sum_{k=1}^m d(\lambda, \lambda_k)$ - медиана Кемени;

Λ - профиль предпочтений состоящий из ранжирований, сформированных лабораториями λ_k ;

Π - множество всех $n!$ линейных порядков \succ на A ;

β - линейное отношение консенсуса (медиана Кемени).

Используем алгоритм ветвей и границ для поиска медианы Кемени. Рассмотрим применение данного алгоритма на примере измерения длины девятью лабораториями. Данные сличения взяты из [3] (рисунок 1).

Ранжирование неопределенностей результатов измерений было представлено в виде профиля предпочтений. Для данного профиля предпочтений был применен алгоритм ветвей и границ и получены следующие оптимальные решения:

- $a_8 \succ a_9 \succ a_6 \succ a_7 \succ a_{10} \succ a_4 \succ a_5 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_1 \succ a_{12}$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_6 \succ a_7 \succ a_{10} \succ a_4 \succ a_5 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_{12} \succ a_1$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_6 \succ a_7 \succ a_{10} \succ a_5 \succ a_4 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_1 \succ a_{12}$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_6 \succ a_7 \succ a_{10} \succ a_5 \succ a_4 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_{12} \succ a_1$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_7 \succ a_6 \succ a_{10} \succ a_4 \succ a_5 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_1 \succ a_{12}$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_7 \succ a_6 \succ a_{10} \succ a_4 \succ a_5 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_{12} \succ a_1$
- $a_8 \succ a_9 \succ a_7 \succ a_6 \succ a_{10} \succ a_5 \succ a_4 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_1 \succ a_{12}$

Проанализировав полученные решения, можно заметить, что отношения $a_4 \succ a_5$ и $a_5 \succ a_4$ наблюдаются одинаковое количество раз. Из этого следует, что альтернативы a_4 и a_5 являются эквивалентными, т. е. $a_5 \sim a_4$. То же самое можно отме-

тить для $a_6 \sim a_7$, и для $a_1 \sim a_{12}$. Таким образом, оптимальное отношение консенсуса примет вид:

$$\beta = \{a_8 \succ a_9 \succ a_6 \sim a_7 \succ a_{10} \succ a_4 \sim a_5 \succ a_3 \succ a_{11} \succ a_2 \succ a_1 \sim a_{12}\}.$$

Получили, что победителем является альтернатива a_8 , которая принимает значение равное 1,77395 дюймов. Это значение примем за опорное значение измеряемой величины. Этот результат совпадает с опорным значением, найденным для тех же данных в статье [3].

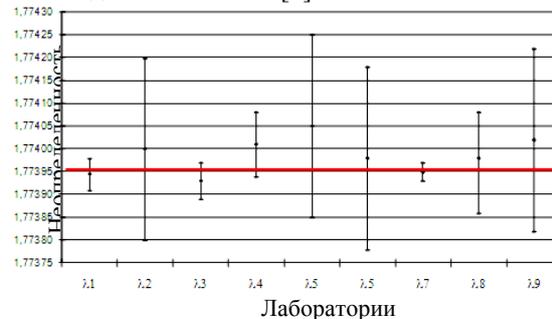


Рисунок 1 – Результаты измерений, представленные девятью лабораториями

Вывод

Представленные результаты демонстрируют возможность применения метода агрегирования предпочтений в метрологической практике. Такие же результаты были получены при проведении данного эксперимента другим методом в работе [3].

В дальнейшем предполагается провести сравнительный анализ рассмотренных выше методов нахождения наибольшего совместимого подмножества для процедуры МСИ. А также усовершенствовать и устранить имеющиеся недостатки метода агрегирования предпочтений.

Список литературы:

- 1 ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.: Стандартинформ, 2007. – 26 с.
- 2 M.G. Cox, "The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset", *Metrologia*, 44 (2007), pp. 187–200.
- 3 H.S. Nielsen, "Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing", *Proceedings of NSCL International Workshop and Symposium*, August 17-18, Tampa, Florida, USA, 2003, pp.1-16.
- 4 S.V. Muravyov, I. A. Marinushkina, "Largest consistent subsets in interlaboratory comparisons: preference aggregation approach", *Measurement*, Vol. 29, 2001, pp. 209-223.
- 5 S.V. Muravyov, "Rankings as ordinal scale measurement results", *Metrology and measurement systems*, Vol. 14, 2007, pp. 9-23.

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СВЕТОДИОДЫ

Воробьев В. А.

Научный руководитель: Огородников Д. Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: valentin_vorobev@mail.ru

Еще недавно светодиоды были всего лишь устройствами индикации, а сегодня это уже высокоэффективные [светодиодные светильники](#), которые в ближайшие 10-15 лет преобразят мир искусственного освещения и полностью заменят лампы накаливания.

Несколько слов о том, какие на сегодняшний день существуют технологии изготовления [светодиодов](#) и светодиодных модулей. Как уже упоминалось, используют два технологических подхода: метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МВЕ — Molecular Beam Epitaxy) в условиях сверхвысокого вакуума и метод осаждения пленок из металлоорганических соединений (МОСVD — Metalorganic Chemical Vapor Deposition) КНТО касается выращивания кристаллов, основная технология — металлоорганическая эпитаксия. Для этого процесса необходимы особо чистые газы. В современных установках предусмотрена автоматизация и контроль состава газов, их отдельные потоки, точная регулировка температуры газов и подложек. Толщины выращиваемых слоев измеряются и контролируются в пределах от десятков ангстрем до нескольких микрон. Разные слои необходимо легировать примесями, донорами или акцепторами, чтобы создать р-п-переход с большой концентрацией электронов в п-области и дырок — в р-области.

За один процесс, который длится несколько часов, можно вырастить структуры на 6-12 подложках диаметром 50-75 мм. Очень важно обеспечить и проконтролировать однородность структур на поверхности подложек. Стоимость установок для эпитаксиального роста полупроводниковых нитридов, разработанных в Европе (фирмы Aixtron и Thomas Swan) и США (Emcore), достигает \$1,5-2 млн. Опыт разных фирм показал, что научиться получать на такой установке конкурентоспособные структуры с необходимыми параметрами можно за время от одного года до трех лет. Это — технология, требующая высокой культуры.

Важным этапом технологии является планарная обработка пленок: их травление, создание контактов к п- и р-слоям, покрытие металлическими пленками для контактных выводов. Пленку, выращенную на одной подложке, можно разрезать на несколько тысяч чипов размерами от 0,24x0,24 до 1x1 мм².

Следующим шагом является создание светодиодов из этих чипов. Необходимо смонтировать кристалл в корпусе, сделать контактные выводы, изготовить оптические покрытия, просветляющие поверхность для вывода излучения или отражающие его. Если это белый светодиод, то

нужно равномерно нанести люминофор. Надо обеспечить теплоотвод от кристалла и корпуса, сделать пластиковый купол, фокусирующий излучение в нужный телесный угол. Около половины стоимости светодиода определяется этими этапами высокой технологии.

Необходимость повышения мощности для увеличения светового потока привела к тому, что традиционная форма корпусного светодиода перестала удовлетворять производителей из-за недостаточного теплоотвода. Надо было максимально приблизить чип к теплопроводящей поверхности. В связи с этим на смену традиционной технологии и несколько более совершенной технологии SMT (поверхностный монтаж) приходит наиболее передовая технология COB (chip on board).

Светодиоды, выполненные по технологии SMT и COB, монтируются (приклеиваются) непосредственно на общую подложку, которая может исполнять роль радиатора — в этом случае она делается из металла. Так создаются светодиодные модули, которые могут иметь линейную, прямоугольную или круглую форму, быть жесткими или гибкими — то есть призваны удовлетворить любую прихоть дизайнера. Появляются и светодиодные лампы с таким же цоколем, как у низковольтных галогенных. А мощные светодиодные прожекторы и светильники используют светодиодные сборки на круглом массивном радиаторе.

Раньше в светодиодных сборках было очень много светодиодов. Сейчас, по мере увеличения мощности, светодиодов становится меньше, зато оптическая система, направляющая световой поток в нужный телесный угол, играет все большую роль.

Все светодиоды, которые используются для освещения, имеют одинаковые базовые конструкции. Они состоят из:

- Полупроводникового чипа или кристалла;
- Подложки, на которую они устанавливаются;
- Контактных для электрических подключений;
- Соединительных проводников, которые нужны для подсоединения контакта к кристаллу, теплоотводу, линзе и корпусу.

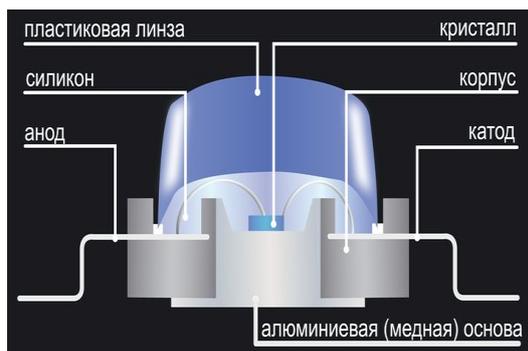


Рис.1. Устройство осветительного светодиода.

Тепло, которое генерируют осветительные светодиоды, внутри них не рассеивается, для этого они снабжены корпусом, который может прямо припаиваться к поверхности, тем самым обеспечивая теплоотвод. Хороший отвод тепла очень важен, чтобы обеспечить температурный режим и нормальную работу светодиода, в другом случае произойдет процесс деградации.

Для того чтобы получить белый свет от светодиода, необходимо взять кристалл синего свечения и покрыть его желтым люминофором. При включении кристалл светодиода будет излучать с индуцированным им излучением люминофора свет, воспринимаемый нами как белый свет.

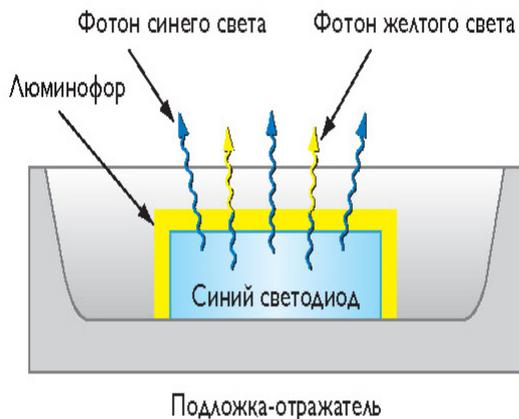


Рис.2. Схема получения белого света.

Тот или иной оттенок или цветовая температура белого света, излучаемого светодиодом,

определяется длиной волны света, испускаемого синим кристаллом и составом люминофора. От толщины люминофора зависит цветовая температура излучения светодиодов и на производстве, чтобы уменьшить этот разброс, ведут за этим строгий контроль.

В наше время светодиоды уже давно превосходят другие источники света.

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
Лампа накаливания	60	790—830	13
Лампа накаливания	100	1550—1630	15
Лампа накаливания (галогенная)	2,6	52	20
Газоразрядная лампа («автомобильный ксенон»)	35	3000—3400	93
Светодиод Cree XR-E P4 (Q5)	ном. 1,15-3,7	ок. 81-180 (107-235)	70-50 (93-63)
Светодиод ^[1] Seoul Semiconductor P7	ном. 4,6-10	ок. 400—700	87-70
Светодиод Cree MC-E	ном. 4,5-10	ок. 430—750	95-75
Светодиод Luminius SST-90	ном. 10-35	ок. 1000—2600	100-74
Светодиод Cree XP-G	ном. 1-5,6	ок. 120—460	120-82
Светодиод Cree XM-L	ном. 2-10	ок. 280—910	140-91

Таблица 1. Характеристики источников света.

Список литературы:

1. http://www.ylati.ru/sovremennyye_svetodiodyi.html
2. http://www.kit-e.ru/author.php?author_id=544
3. <http://www.ylati.ru/svetodiodyi.html#beliysvet>

МЕТОД ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ 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: gudkov.stanislav@gmail.com

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 [1]. При эксплуатации жидкостных систем авиационной и космической техники проблема надежности является одной из определяющих, так как отказ может иметь катастрофические последствия.

Вихретоковый контроль чистоты жидкостей является одним из перспективных, т.к. позволяет проводить классификацию примесей по типу материала (металл магнитный/немагнитный).

Вместе с тем, существующие средства электромагнитного контроля не соответствуют в должной мере требованиям практики [2].

В [3] авторами предложена конструкция вихретокового датчика, позволяющая применять метод когерентного усреднения для повышения отношения сигнал/шум. Это достигается за счет накопления сигналов от одной и той же частицы в различных обмотках датчика и последующего их усреднения. Метод когерентного усреднения подразумевает равенство начальных фаз усредняемых сигналов. Для обеспечения синфазности усредняемых сигналов с различных обмоток применяется корреляционный анализ, позволяющий определить, какую точку в общей форме сигнала взять за точку отсчета. Под точкой отсчета подразумевается величина временной задержки, определяемая временем перемещения примесной частицы от одной обмотки датчика до другой. При этом предполагается, что максимум основного всплеска на корреляционной функции является статистически устойчивым. Однако наличие большого количества влияющих факторов, а также низкое отношение сигнал/шум приводит к искажению формы взаимной корреляционной функции (ВКФ). Так, возможно перемещение положения максимальной амплитуды, либо наличие нескольких, близких по величине экстремумов ВКФ. В связи с этим необходимо определить оптимальный метод обработки ВКФ - посредством поиска глобального максимума ВКФ, либо путем обработки временного положения центра тяжести основного всплеска ВКФ.

На рисунке 1 приведены сигналы с двух последовательно расположенных друг за другом обмоток датчика.

Линейный парный коэффициент корреляции (взаимно корреляционная функция) сигналов $U1(i)$ и $U2(i)$ может быть вычислен по формуле [4]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (U1_i - \bar{U}1) \cdot (U2_i - \bar{U}2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (U1_i - \bar{U}1)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (U2_i - \bar{U}2)^2}}$$

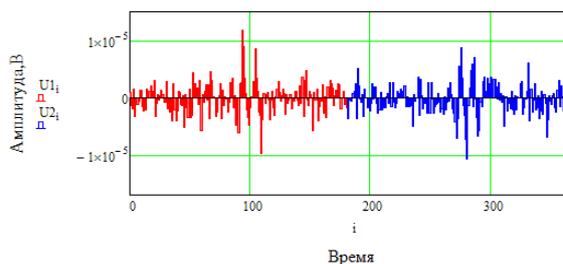


Рисунок 1 – Сигналы с обмоток датчика

График взаимной корреляционной функции приведен на рисунке 2.

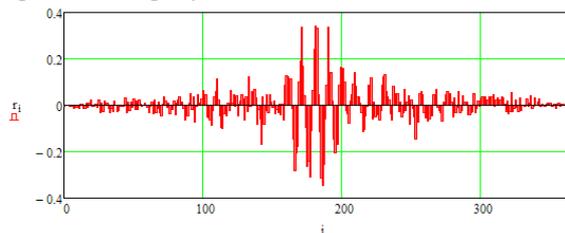


Рисунок 2 – Коэффициент взаимной корреляции

Как показывают расчеты, например, для данных, приведенных на рисунке 1, погрешность определения положения точки отсчета методом поиска максимума ВКФ составляет 5.5%.

При обработке сигналов возможно использование как центра тяжести по площади, так и центра тяжести по энергии, при условии, что выбранный центр тяжести является реперной точкой во всех проводимых измерениях.

Центр тяжести по площади определяется по формуле [5]

$$\tau_s = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x \cdot |f(x)| dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx}$$

Центр тяжести по энергии определяется как

$$\tau_E = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x \cdot |f(x)|^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx}$$

Для данных, приведенных на рисунке 1, погрешность определения точки отсчета с использованием центра тяжести по площади составляет 2.3%, с использованием центра тяжести по энергии – 1.1%.

Из приведенных данных видно, что для сигналов сложной формы центр тяжести по площади не совпадает с центром тяжести по энергии, а относительная ошибка определения точки отсчета через центр тяжести по энергии в 5 раз меньше, чем по максимуму ВКФ.

Статистическая обработка результатов определения положения точки отсчета по выборкам, состоящим из $N = 250$ значений каждая с использованием максимума ВКФ, центра тяжести по площади и центра тяжести по энергии показала, что экспериментальные данные согласно критерию Шапиро-Уилка описываются нормальными законами распределения с вероятностью 0,98750; 0,98811 и 0,97648 соответственно.

На рисунке 3 приведено распределение результатов определения положения точки отсчета с использованием центра тяжести по энергии.

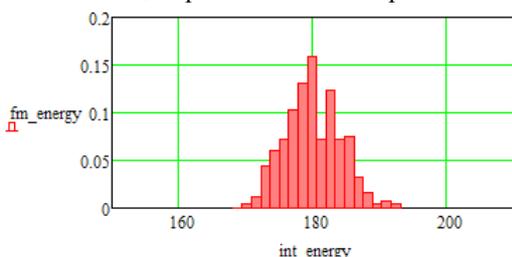


Рисунок 3 – Распределение положений точки отсчета с использованием центра тяжести по энергии

Из анализа распределений получены оценки среднего значения $\bar{\tau}$ и стандартного отклонения s положения точки отсчета. Эти значения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Статистические параметры

Параметр ВКФ	$\bar{\tau}$	s
Максимум амплитуды	180,5	5,26
Центр тяжести по площади	180,65	4,42
Центр тяжести по энергии	180,6	4,19

Доверительный интервал, в котором находится значение положения точки отсчета для заданных вероятностей, определим в виде [5]

$$\tau = \bar{\tau} \pm \mathcal{G} \cdot s,$$

где \mathcal{G} - коэффициент, значения которого являются табличными данными для заданных вероятностей.

В таблице 2 приведены результаты расчетов доверительных интервалов на среднее значение положения точки отсчета для заданных вероятностей p .

Таблица 2 Доверительные интервалы

Параметры ВКФ	Доверительные интервалы положения точки отсчета		
	$p = 0.9$	$p = 0.955$	$p = 0.997$
Максимум амплитуды	180.5±8.65	180.5±10.5 2	180.5±15.8
Центр тяжести по площади	180.6±7.27	180.6±8.84	180.6±13.3
Центр тяжести по энергии	180.65±6.8 9	180.65±8.3 8	180.65±12. 6

Из полученных результатов видно, что при истинном положении точки отсчета 181 относительная единица максимальная ошибка определения её положения по параметрам ВКФ составляет: при использовании максимума ВКФ – 8.45%, при использовании центра тяжести по площади – 7.1%, при использовании центра тяжести по энергии – 6.77%.

Таким образом, использование при обработке ВКФ центра тяжести по энергии позволяет обеспечить наиболее точную оценку положения точки отсчета, необходимого для применения метода когерентного накопления.

Список литературы

1. Кудрявцев, И.А. Повышение разрешающей способности и чувствительности фотоэлектрических преобразователей встроенного контроля параметров дисперсной фазы для систем управления: автореферат дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.13.05. - Самара, 1999г.
2. Промышленный контроль рабочих жидкостей и техники [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.diamas.ru>. Дата обращения: 10.01.2012
3. Гудков, С.А. Моделирование поля вихревого датчика [Текст]/С.А.Гудков, И.А. Кудрявцев // X Международная научно-техническая конференция "Физика и технические приложения волновых процессов": сб. научных трудов.- Самара, 2011. – С. 141-142.
4. Орлов, А. И. Прикладная статистика/ А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2004.
5. Бабак, В.П. Локализация места положения сквозных дефектов по сигналам акустической эмиссии [Текст]/ В.П.Бабак, А.В. Пономаренко// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. -2007. –№1.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Гуляев В.С.

Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: gulyayev.v90@mail.ru

Дифференциальный указатель представляет собой устройство, обеспечивающее в составе измерительного комплекса сравнение значений двух напряжений одной частоты, полученных с выходов масштабных преобразователей, входы которых получают сигналы с генератора – источника синусоидального напряжения [1]. В составе комплекса указатель предназначен для исследования, калибровки и поверки масштабных измерительных преобразователей (делителей напряжения) и аттенуаторов (рисунок 1) [2].

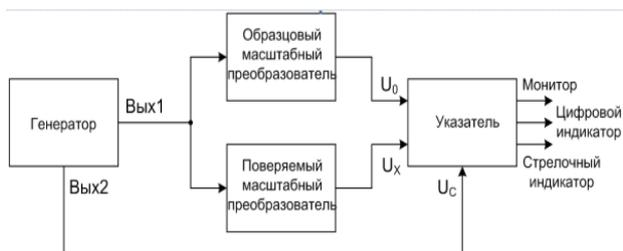


Рис.1. Схема включения указателя в составе измерительного комплекса

Кроме этого дифференциальный указатель (внешний вид прибора представлен на рисунке 2) как устройство сравнения напряжений может быть использован для измерения дифференциальных составляющих выходных напряжений мостовых схем, преобразующих с помощью датчиков любую физическую величину в напряжение в нормальных условиях эксплуатации [3].



Рис.2. Передняя панель указателя

Рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающей среды : $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность окружающего воздуха: от 30 до 80%;
- атмосферное давление: от 84 до 106,7 кПа;
- напряжение питания с частотой (50 ± 1) Гц: от 198 до 242 В.

Технические данные:

- диапазон частот: 20 Гц – 100 кГц;
- динамический диапазон: 10 В – 10 мВ;
- разрешающая способность: 10 нВ на частоте 1 кГц; 100 нВ, 1 мкВ, 10 мкВ в диапазонах частот и напряжений;
- управление: дистанционное (USB) и ручное;
- средства отображения информации: монитор ЭВМ, цифровой индикатор, стрелочный прибор;
- языки программного обеспечения: C++, Delphi.

Принцип действия и структурная схема

Принцип действия указателя основан на выделении дифференциальной составляющей двух напряжений U_0 и U_X , полученных с выходов образцового и поверяемого масштабных преобразователей в составе измерительного комплекса (рисунок 1).

Для малых значений определяемой дифференциальной составляющей входных сигналов частотные и фазовые искажения, вносимые преобразователями незначительны. Это дает возможность определения разницы в длинах двух векторов напряжений путем вычитания их мгновенных значений с дальнейшим усилением и синхронным детектированием разностного напряжения с использованием синфазного напряжения U_C с выхода 2 генератора.

Реализация выделения малой дифференциальной составляющей сравниваемых сигналов (нановольты, микровольты) на фоне большой синфазной составляющей (до 10 В среднеквадратического значения) с обеспечением высокого импеданса по измерительным входам указателя U_0 и U_X реализуется в схеме, изображенной на рисунке 3. Повторитель в

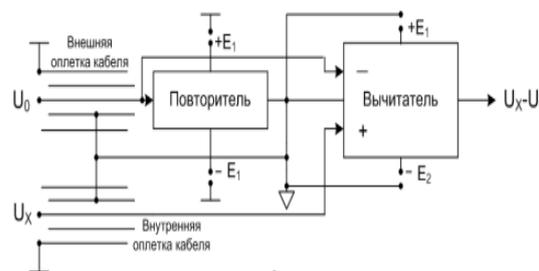


Рис.3. Схема выделения дифференциального сигнала
составе схемы позволяет расширить динамический диапазон сравниваемых сигналов и облегчить режим работы схемы вычитания при определении информационного разностного сигнала $U_X - U_0$.

Структурная схема указателя приведена на рисунке 4.

Пусть на входах U_0 и U_X указателя действуют гармонические напряжения $U_0(t)$ и $U_X(t)$ с почти идентичными фазами и малыми отклонениями длин векторов ΔU .

Тогда по схеме рисунка 3 на инверсный вход схемы вычитания поступает напряжение $U_0(t)(1 - K_{\Pi})$, а на не инверсный $U_X(t) - U_0(t)K_{\Pi}$. Если передачи схемы равны +1 и -1, то на ее выходе имеем: $U_X(t) - U_0(t)K_{\Pi}$.

$U_0(t)(1 - K_{\Pi}) = U_X(t) - U_0(t)$. При фазах сравнимых напряжений, совпадающих между собой, схема выдает разницу в длине векторов двух напряжений вне зависимости от значения напряжения U_0 во всем динамическом диапазоне его изменения.

Такое положение позволяет изменять разрешающую способность указателя путем изменения коэффициентов усиления усилителей кодами управления, поступающими с микроконтроллера при инициировании одной из кнопок множителя показаний индикаторов (рисунком4).



Рис. 4. Структурная схема указателя

Разностный сигнал усиливается программными усилителями и подается на первый вход синхронного детектора (СД), обеспечивающего его перемножение с гармоническим сигналом, поступающим на

второй вход СД с выхода 2 генератора комплекса. После фильтрации на выходе ФНЧ получаем сигнал, пропорциональный значению ΔU , который фиксируется индикаторами указателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бориков В.Н., Ким В.Л., Меркулов С.В. Генераторы тестовых напряжений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 1.
2. Ким В.Л., Пругло В.И. Автоматизированная установка для исследования масштабных измерительных преобразователей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 4.
3. Бориков В.Н., Баранов П.Ф., Цимбалист Э.И., Ким В.Л. Устройство для испытаний и поверки индуктивных делителей напряжения // Контроль, диагностика. – 2011. – №11.

СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Гурин С.Ю., Дьяченко М.С.

Научный руководитель: Яковлев А.Н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: serjant007@sibmail.com

Развитие человечества неразрывно связано с постоянным развитием технологий, направленных на улучшение жизни. Не остаются в стороне и технологии освещения. Новые разработки позволяют экономить электроэнергию, получать более приятный свет, реализовать различные световые эффекты с минимальным набором оборудования.

LED светильники, которые постепенно вытесняют обычные лампы накаливания, в скором времени могут стать самыми популярными источниками света в производстве, рекламе, бизнесе и даже в домашних условиях. Современное светодиодное освещение уверенно набирает обороты, занимая все большую долю рынка осветительного оборудования.

Один из главных плюсов подобного решения заключается в его экономичности. Благодаря светодиодному освещению возможно сократить расходы на электроэнергию в несколько раз. Лампы накаливания, люминесцентные и галогенные лампы популярны, но отказ от их использования сегодня является верным шагом в сторону разумной экономии. Простая замена ламп в офисном помещении позволяет сократить расходы не только на электроэнергию, но и на сами лампочки, так как срок службы источников света светодиодного освещения значительно дольше. Светодиодное освещение по праву называют инновационным, так как его преимущества перед уже известными источниками света неоспоримы (отсутствие ртути, быстрый выход на рабочий режим, отсутствие стробоскопического эффекта, долговечность) а его использование практически не имеет недостатков, которыми обладали его предшественники.

1. Разработка светодиодного светильника

Таким образом, была поставлена задача разработки линейки светодиодных светильников различной мощности, отвечающих современным требованиям рынка светотехнической продукции, и способных составить конкуренцию имеющимся аналогам.

Для решения задач, связанных с тепловыделением, был разработан ряд профилей корпусов светильника. Моделирование тепловых потоков в светильнике и расчет тепловых нагрузок произведен с помощью модуля анализа теплопередачи SolidWorks Flow Simulation в среде SolidWorks. На основе полученных результатов тепловых расчетов сделан вывод о работоспособности каждого из вариантов профиля для корпуса.

Конечный вариант профиля (рис. 1), отвечающий габаритным, массовым и тепловым требованиям получен в результате проведенных расчетов и экспериментов с формой и габаритами.



Рис.1 Профиль светодиодного уличного светильника

Тепловой расчет профиля, представленного на рисунке 1, показывает, что максимальная температура на корпусе (в горизонтальном положении при штиле и температуре окружающей среды 20°C) не превышает 49°C и является допустимой температурой. Температурный запас для светодиодов марки "Cree" составляет 20°C (Рис.2). [1]

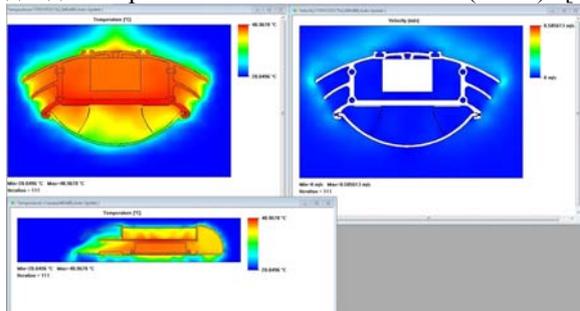


Рис. 2 Результаты теплового расчета профиля с помощью модуля SolidWorks Flow Simulation

В результате проделанной работы разработан светодиодный уличный светильник мощностью 100 Вт, отвечающий всем поставленным задачам. Внешний вид светильника приведен на рисунке 3.



Рис. 3 Внешний вид светильника

2. Расчет статических нагрузок светильника

Расчет статических нагрузок светодиодного уличного светильника в программе SolidWorks Simulation. К концу профиля светильнику была приложена нагрузка в 150 кг. Результаты расчета напряжений представлены на рисунке 4. А также на рисунке 5 представлены результаты расчета

перемещений при тех же нагрузках.

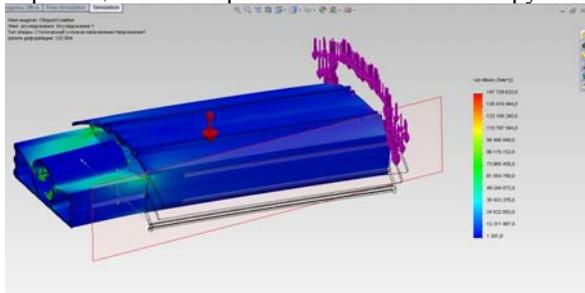


Рис. 4 Результаты расчета статических нагрузок светильника (приложенная нагрузка 150 кг)

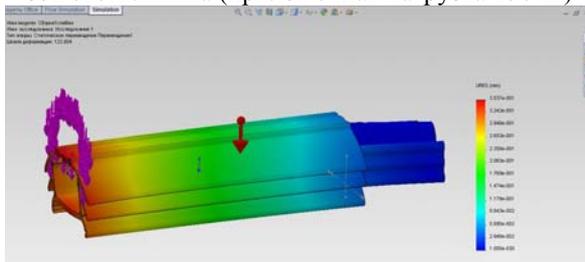


Рис. 5 Результаты расчета перемещений при нагрузке 150 кг

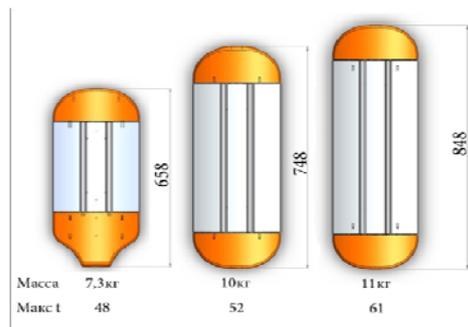
Расчеты показали, что напряжения и перемещения светильника при нагрузках в 150кг, составили ничтожно малые величины, и не представляют угрозы для целостности конструкции.

3. Подвесные светильники

На базе уличного светодиодного светильника разработаны конструкции подвесных светильников мощностью 150 и 200 Вт (рис. 6). Данные модели состоят из тех же конструктивных элементов, что и уличный светильник. Различие заключается в длине профиля и, как следствие, массе (рис. 7). Данное решение позволило добиться универсальности в изготовлении и взаимозаменяемости деталей.



Рис. 6 Подвесные светильники мощность 150 и 200 Вт



а) б) в)

Рис. 7 Светодиодные светильники:

- а) уличный
- б) подвесной мощностью 150 Вт
- в) подвесной мощностью 200 Вт

В результате расчета подвесного светодиодного светильника мощностью 150Вт на тепло, была получена следующая картина распределения тепловых потоков в корпусе светильника (Рис. 8), из нее видно, что наибольшая температура сосредоточена в месте расположения светодиодных линеек и далее равномерно распределяется по всему профилю корпуса. Крылья профиля корпуса так же отводят тепло, что существенно снижает температуру корпуса в целом.

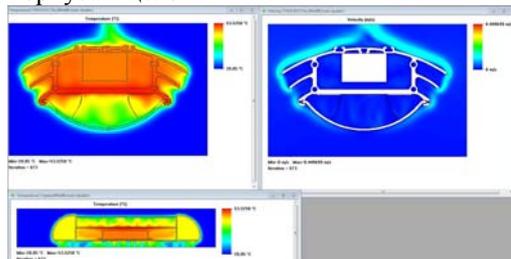


Рис. 8 Светодиодный светильник 150Вт

Для корпуса светодиодного светильника мощностью 200Вт картина распределения тепловых потоков представлена на Рис.13. В данном случае температура также сосредоточена в зоне светодиодных линеек и распределяется по всему корпусу светильника.

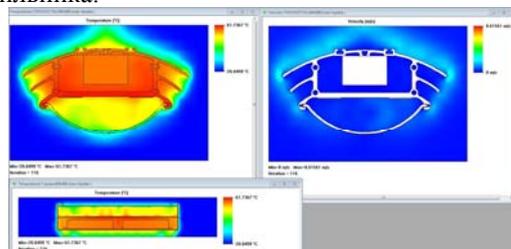


Рис. 13 Светодиодный светильник 200Вт.

Список литературы:

1. <http://www.cree.com/products/materials.asp>
2. Шуберт Ф.Е. Светодиоды, 2-е изд, М., ФИЗМАТЛИТ, 2008 г. , 500 стр.
3. <http://catalog.osramos.com/catalogue/thermal-management-of-Golden-Dragon-led>

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ P-N ПЕРЕХОДА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ ПО СПАДУ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Гущин В.А., Роденко О.Л., Мошкина А.В.

Научный руководитель: Смирнов С.В., д.т.н., профессор

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, Россия,
г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: yovan545182@gmail.com

В последнее время светодиоды все активнее используются для создания светотехнических устройств. Однако с повышением температуры светодиодов ухудшаются их электрические параметры, значительно снижается надежность работы и срок службы. Именно поэтому всегда желательно знать зависимость температуры перехода от протекающего тока.

Существуют различные методы определения температуры p-n-перехода: измерение порогового напряжения; измерение теплового сопротивления; измерение сдвига прямого падения напряжения и т.д. Большинство этих методов косвенные, в них температура перехода определяется по легко измеряемым параметрам. Данная работа посвящена методу определения температуры перехода по спаду интенсивности излучения. Этот метод прост в реализации, не требует дорогостоящего оборудования.

С ростом температуры интенсивность излучения светодиодов падает. Это снижение происходит из-за безызлучательной рекомбинации через глубокие примесные уровни, рекомбинации на поверхности, потери носителей в барьерных слоях гетероструктур. Температурную зависимость интенсивности излучения светодиодов вблизи комнатной температуры часто описывают следующим феноменологическим уравнением:

$$I = I_{300k} \cdot \exp\left(-\frac{T-300}{T_1}\right)$$

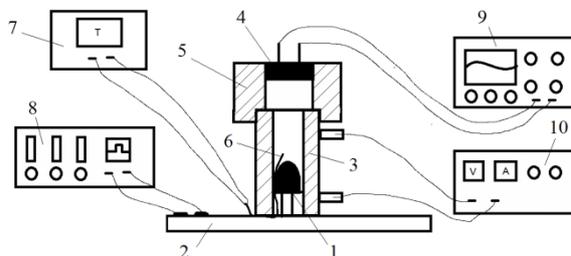
где T_1 - характеристическая температура конкретного светодиода [1].

Данный метод состоит из двух этапов: калибровочного, в котором через светодиод пропускается импульсный ток и измерения при постоянном токе.

Схема установки для первого этапа эксперимента представлена на рис.1. и состоит из следующих элементов:

- 1 – Исследуемый светодиод;
- 2 – Светодиодный макет;
- 3 – Нагревательный резистор ПЭВР – 100;
- 4 – Фотодиод ФД-24К;
- 5 – Держатель фотодиода;
- 6 – Термопара;
- 7 – Цифровой мультиметр;
- 8 – Генератор импульсов;
- 9 – Цифровой Осциллограф;
- 10 – Источник постоянного напряжения.

Рис. 1. Схема установки для калибровочного этапа измерений



Светодиод (1) помещается в отверстие в двухваттном резисторе ПЭВР – 100 (3), который нагревается за счет прохождения по нему тока от источника постоянного напряжения (10). Определение температуры осуществляется при помощи мультиметра (7) с термопарой (6). В ходе калибровочных измерений на светодиод подается импульсный ток с генератора импульсов (8), со скважностью необходимой для исключения внутреннего разогрева светодиода из-за инжекционного тока. Сверху на систему светодиода (1) и резистора (3) устанавливается фотодиод ФД-24К (4) на держателе (5) с плохой теплопроводностью, который в процессе эксперимента не позволит нагреваться фотодиоду. Фотодиод (4) подключается к цифровому осциллографу (9). С помощью осциллографа фиксируются импульсы, которые возникают в фотодиоде при прохождении импульсного тока через светодиод. При нагревании светодиода происходит спад интенсивности излучения светодиода и соответственно происходит спад вершины импульса на фотодиоде, который и фиксируется с помощью осциллограмм. Таким образом, по падению напряжения на фотодиоде можно судить о температуре перехода.

Рис. 2. Схема установки для второго этапа измерений

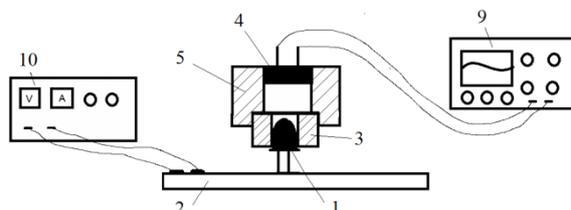


Схема установки для проведения второго этапа измерений представлена на рис.2., как видно система аналогичная предыдущей, и состоит из тех же элементов, за исключением того, что вместо нагревательного резистора (3) используется специальный переходник (3).

На светодиод (1) подается постоянный ток с источника (10), сверху на светодиод крепится специальный переходник (3), который обеспечивает плотную стыковку с фотодиодным держателем (5). Этот переходник изготавливается для каждого типа корпуса светодиодов.

Измерения проводятся с помощью цифрового осциллографа (9). При подаче постоянного тока на светодиод, он начнет разогреваться за счет инжекционного тока, что приведет к спаду интенсивности излучения. Этот спад можно будет зафиксировать в момент включения, с помощью фотодиода и подключенного к нему осциллографа. С помощью калибровочных измерений, зная спад напряжения на фотодиоде в момент включения питания на светодиоде, определим температуру перехода диода.

Эксперимент проводился для следующих светодиодов фирмы KnightBright: L10203UB - синий, L52BUWC - белый, L7605UW - белый с четырьмя кристаллами. Рассмотрим подробно эксперимент для синего светодиода. Для остальных светодиодов он осуществлялся аналогично.

Сначала проводился калибровочный этап эксперимента. С помощью осциллограмм, полученных, при импульсном токе $I = 100$ мА, при температурах $T = 25$ С (рис.3, а) $T = 100$ С (рис.3, б) определили спад вершины импульса на фотодиоде и построили зависимость $\Delta U_{\phi}(T)$ (рис.4.)

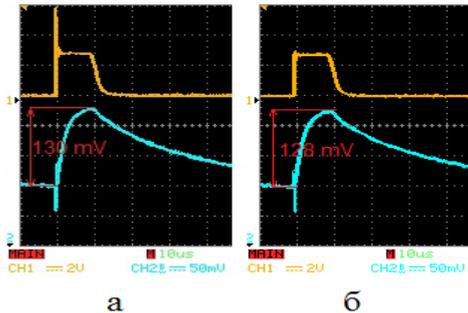


Рис. 3. Осциллограмма для синего светодиода при $T = 25$ С (а) и при $T = 100$ С (б)

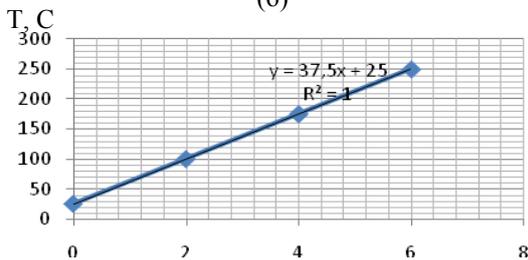


Рис. 4. Калибровочная зависимость $\Delta U_{\phi}(T)$, для синего светодиода

На рис.3. верхняя зависимость – это импульсные сигналы, подаваемые на светодиод, нижняя

зависимость – интенсивность излучения светодиода, получаемая на фотодиоде.

После построения калибровочной зависимости производили измерение на постоянном токе $I=100$ мА, при комнатной температуре, согласно методике. В момент включения напряжения на светодиоде снимали осциллограмму для фотодиода (рис.5.).

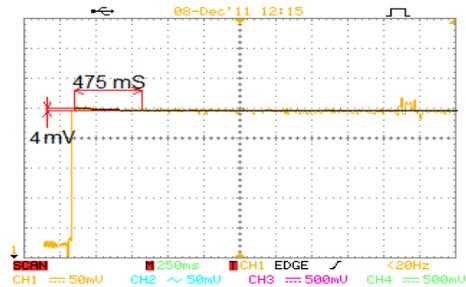


Рис. 5. Осциллограмма для синего светодиода в момент включения

Из рис.5. определили падение напряжение обусловленное спадом интенсивности светодиода из-за его нагрева за счет протекающего постоянного тока. $\Delta U_{\phi} = 4$ мВ, Время этого спада приблизительно $t_c = 475$ мс. Затем с помощью калибровочной зависимости (рис.4.) определили температуру перехода - $T = 175$ С.

Аналогичные эксперименты были проведены для остальных светодиодов и были получены следующие температуры переходов:

- Для синего светодиода L10203UB – $T = 175$ С;
- Для белого светодиода L52BUWC – $T = 250$ С;
- Для белого светодиода с четырьмя кристаллами L7605UW – $T = 215$ С.

Результаты полученные данным методом совпали с результатами полученными с помощью метода определения температуры p-n перехода по сдвигу прямого падения напряжения.

В этом методе не нужно использовать никаких электрических контактов со светодиодом, измерение осуществляется только с помощью фотодиодного блока, который присоединяется непосредственно на сам корпус светодиода сверху. Такой способ позволяет с легкостью и большой производительностью производить измерения светодиодных светильников, состоящих из большого числа светодиодов, различных светодиодных матриц, а также тех светодиодов, к которым затруднен непосредственный доступ.

Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды/ А.Э. Юнович - 2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ

Гынгазова Г.С., Миляев Д.В.

Научный руководитель Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Е-mail: Ljata@sibmail.com

Известные вихретоковые преобразователи (ВТП) применяют для контроля и измерения различных параметров технологических процессов в информационно-измерительных системах. Однако для измерения скорости вихретоковый метод недостаточно исследован. Особенно, это проявляется при контроле различных движущихся изделий – ферромагнитных и немагнитных, имеющих различную форму и длину.

Существует проблема контроля движущихся протяженных объектов из немагнитных металлов. В данном случае рассматриваются вопросы зависимости чувствительности от скорости применительно для измерения длины немагнитных канатов. Как правило, используемые скорости не превышают 10 м/с. При измерении скорости ВТП выходными параметрами могут быть мнимая и вещественная составляющие выходного напряжения, их модуль и фаза сигнала. Требуется выбрать из этих параметров тот, который имеет большую чувствительность. С этой целью в данной работе проводится теоретический анализ чувствительности на основании приведенного в литературе годографа. Одним из достоинств измерителей скорости немагнитных протяженных изделий является его чувствительность. Для этого необходимо найти зависимость чувствительности от различных выходных параметров.

При контроле круглыми проходными ВТП движущихся цилиндрических объектов (проводов, труб прутков и др.) представляет практический интерес анализ вносимых параметров проходных наружных преобразователей (ПНП).

Ниже приведено выражение для вносимой ЭДС:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{вн} &= -j\mu_0 \dot{I} a^2 \omega \cdot \\ &\cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\mu_r |\lambda| J_0(|\lambda| R) J_1(qR) - q J_1(|\lambda| R) J_0(qR)}{\mu_r |\lambda| K_0(|\lambda| R) J_1(qR) - q K_1(|\lambda| R) J_0(qR)} \cdot \Gamma \\ &\cdot K_1^2(|\lambda| a) e^{-j\lambda z} d\lambda \end{aligned}$$

де,

$$\begin{aligned} q^2 &= \lambda^2 - j\mu_a \lambda v_z \sigma + j\omega \mu_a \sigma = \\ &= \sqrt{\lambda^2 - k^2 \left(1 - \frac{\lambda v}{\omega}\right)} \end{aligned}$$

J_n – функция Бесселя первого рода n -го порядка; K_n – модифицированная функция Бесселя второго рода n -го порядка; a – радиус возбуждающего и измерительного витков; R – радиус объекта (наружный для ПНП и внутренний для ПВП); z – расстояние между плоскостями возбуждающего и

измерительного витков; v_z – скорость движения контролируемого объекта вдоль оси ВТП; λ – переменная интегрирования.

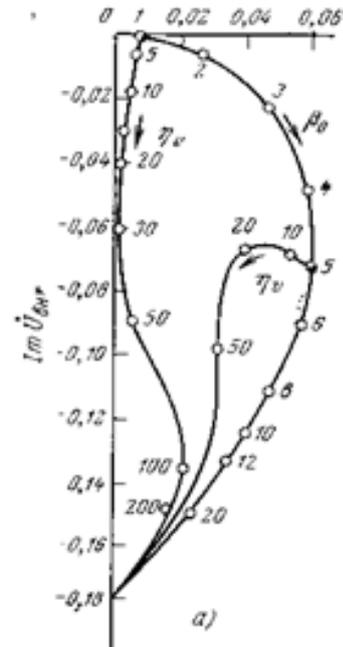


Рис.1 Годографы $U_{вн}^*(\eta_v, \beta_0)$ – относительного вносимого напряжения проходного наружного ВТП при движении немагнитного цилиндрического объекта: а) $R^*=0,6, z^*=0$

Достоинства:

- бесконтактный метод;
- на сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами;

- простота конструкции преобразователя.

Недостатки:

- необходимость отстройки от мешающих параметров.

Для выбора метода измерения и построения структурной схемы необходимо определить чувствительности от скорости по вещественной составляющей, мнимой составляющей, модуля обеих составляющих и по фазе.

Общие формулы чувствительности от изменения скорости имеют вид:

$$S = \frac{\left| \frac{E1 - E2}{E1} \right| \cdot 100\%}{\Delta v}$$

формула расчета чувствительности для мнимой и вещественной составляющей ЭДС.

$$S = \frac{\left| \frac{\phi 1 - \phi 2}{\phi 1} \right| \cdot 100\%}{\Delta v}$$

формула расчета чувствительности фазы сигнала от изменения скорости

$$E_m = \sqrt{E_i^2 + E^2}$$

$$S = \frac{\left| \frac{E_{m1} - E_{m2}}{E_{m1}} \right| \cdot 100\%}{\Delta v}$$

формула расчета чувствительности модуля мнимой и вещественной составляющей ЭДС.

По полученным данным построены графики зависимости изменения чувствительности от изменения скорости.

Таблица 1. Расчет чувствительности

m	v*	Δv	SEi	SE	Sfi	SEm
5	0	0				
	10	6,67	1,06	2,306	0,8390	1,561
	20	13,33	0,00	3,543	2,2084	1,394
	30	20	1,82	2,498	1,7256	0,768
	40	26,67	2,43	0,428	0,9667	1,828
	50	33,33	1,05	0,440	0,2623	0,977
1	0	0				
	10	6,67	0	2,998	0	41,979
	20	13,33	8,68	1,874	1,551	15,879
	30	20	10,99	2,283	0,772	10,002
	40	26,67	6,35	2,998	0,228	4,352
	50	33,33	1,87	14,992	0,006	1,874

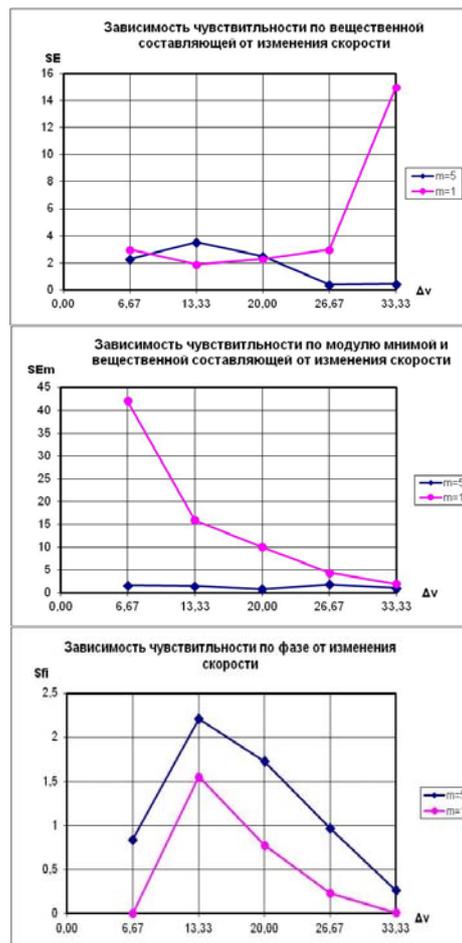


Рис.2 Графики зависимостей чувствительности мнимой и вещественной составляющей, их модуля и фазы сигнала от изменений скорости

Для измеряемого параметра устройство должно иметь линейную зависимость. Графики зависимости, которые наиболее подходят под данное условие реализуется фазовым методом, т.к. разделив данный график на промежутки и аппроксимируя их получают линейные зависимости, имеющие одинаковые коэффициенты передачи. Так же по данному графику видно, что фазовый метод меньше зависит от частоты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Герасимов В.Г., Ключев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
2. Методы измерения неэлектрических величин: учебное пособие / И.Г.Лещенко, Б.Б.Винокуров; Томск; изд-во ТПИ, 1984.-57с.
3. Методы и средства контроля в кабельной промышленности. Сборник методических указаний по выполнению лабораторных работ по программе магистерской подготовки / В.В Редько, Е.М .Федоров; Томск; изд-во ТПУ, 2007.- 55с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИНЫ НЕМАГНИТНОГО КАНАТА

Гынгазова Г.С., Миляев Д.В.

Научный руководитель Миляев Д.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Ljata@sibmail.com

Вихретоковый метод контроля, измерения и диагностики применяется в приборах для контроля различных физических величин.

Это связано с преимуществами вихретокового контроля, такими как высокая скорость контроля, его бесконтактность, высокая чувствительность, высокая надежность и производительность первичных преобразователей и их дешевизна.

В связи с тем, что все больше применяются канаты из немагнитных металлов, возникает потребность в измерении длины изделий с высокой точностью. В настоящее время для измерения применяются различные физические явления, которые, как правило, используют корреляционные методы измерения.

В данной работе рассматриваются теоретические основы применения вихретокового метода и его экспериментальное подтверждение.

Из литературных источников о вихретоковом методе имеются математические выражения, которые отражают зависимость входных параметров преобразователя от параметров изделия скорости.

На рис.1 приведен годограф относительного вносимого напряжения проходного наружного вихретокового (трансформаторного) преобразователя при движении неферромагнитного цилиндрического объекта. И здесь же приведены годографы скоростного эффекта для двух обобщающих параметров $\beta=1$, $\beta=5$.

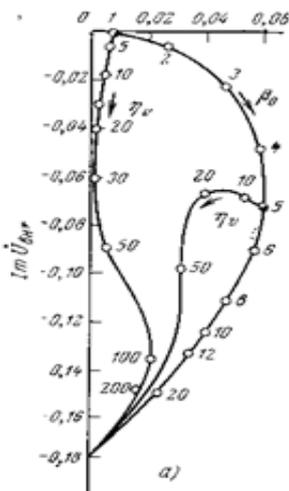


Рис.1 Годографы $U_{вн}^*(\eta_v, \beta_0)$ – относительного вносимого напряжения проходного наружного ВТП при движении неферромагнитного цилиндрического объекта:

а) $R_s=0,6, z_s=0$

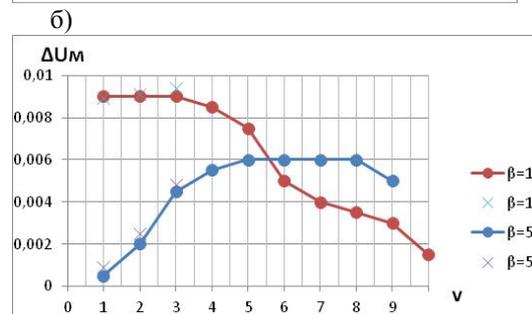
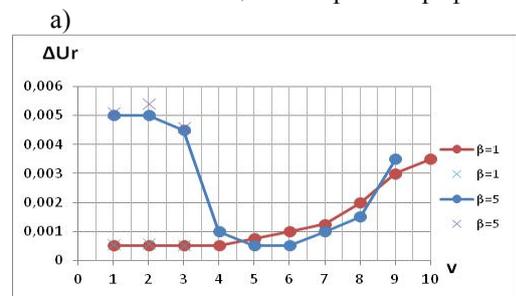
Из этих графиков определяются составляющие выходных напряжений при различных скоростях. На графиках рис.2 показаны зависимости мнимой, вещественной составляющих от скорости, а так же зависимость изменения фазы сигнала от скорости.

При различных скоростях данные составляющие изменяются как видно из таблицы 1, теоретически рассчитанные по графику рис. 1.

Таблица 1. Расчет напряжений (мнимой и вещественной составляющих) и фазы от скорости

v	v*	$\frac{\Delta U_r}{U_{вн}}$	$\frac{\Delta U_m}{U_{вн}}$	tgφ	Δφ
0	0			1,143	
1	9,7	0,0045	0,002	1,260	0,418
2	19,4	0,0055	0,0015	1,512	0,266
3	29,1	0,004	0,0045	2,114	0,844
4	38,8	0,001	0,006	2,606	1,406
5	48,5	0,0005	0,0055	2,853	1,480
6	58,2	0,0005	0,006	3,114	1,488
7	67,9	0,001	0,006	3,667	1,406
8	77,6	0,0015	0,008	4,567	1,385
9	87,3	0,0035	0,004	6,304	0,852

Согласно таблице 1 построены графики:



в)

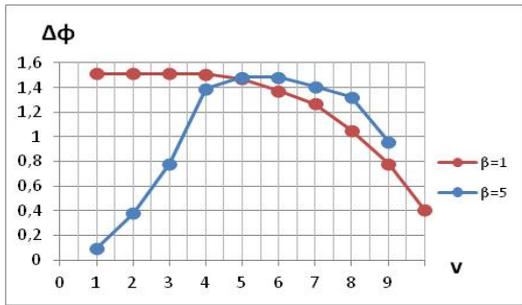


Рис.2 Зависимость вещественной (а), мнимой (б) составляющих и фазы (в) сигнала от скорости. Крестиками (а,б) указаны экспериментально полученные данные

Для проведения полученных теоретических данных были проведены экспериментальные исследования ВТП для двух годографов скоростей. С целью проведения эксперимента необходимо устройство для создания скоростей. Организация высоких скоростей представляет определенную трудность.

В данном случае использовалось простейшее устройство, его конструкция представлена на рис. 3.

Данное устройство представляет собой синхронный двигатель, вращающийся с постоянной скоростью и прикрепленный к специальным цилиндрическим насадкам различного диаметра. Последовательно к этим насадкам прикрепляют объект контроля (шток) с помощью намоточной нити. При вращении двигателя насадки начинают вращаться, перемещая шток, ВТП в свою очередь закреплен не подвижно.

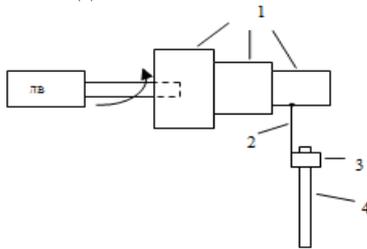


Рис.3 Намоточное устройство. ДВ – синхронный двигатель; 1 – цилиндрические насадки разных диаметров; 2 – намоточная нить; 3 – вихретоковый преобразователь; 4 – объект контроля (шток, стержень)

Таким образом, для создания данного устройства взят синхронный двигатель со скоростью вращения 500 об/мин, к этой дрели прикрепили 3 насадки диаметрами, взятыми из расчетной таблицы 2. Все данные в таблице рассчитаны по формуле:

$$D = \frac{v \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot n}$$

Таблица 2. Расчет диаметров для насадок двигателя

v, м/с	1	2	3
n, об/мин	500		

D, мм	115,6	76,4	38,2
-------	-------	------	------

Каждый диаметр соответствует определенной скорости движения преобразователя по объекту контроля. При имеющихся диаметрах колец и скорости вращения двигателя обеспечиваются соответствующие скорости движения преобразователя по объекту контроля.

Вторым этапом разработки измерителя длины необходимо исследовать мнимую и вещественную составляющую ЭДС при движении объекта контроля. Для этого необходимо собрать установку, показанную на рис.4.

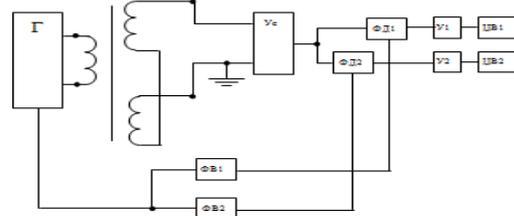


Рис.4 Схема устройства определения мнимой и вещественной составляющей ЭДС

Данная схема работает по следующему принципу, с двух катушек включенных встречно подается напряжение на усилитель, так как разность напряжений между этими катушками больше, чем полезный сигнал. Затем с генератора на фазовращатели подается опорный сигнал и сигнал, смещенный на 90° относительно опорного. Далее сигналы с фазовращателей поступают фазовые детекторы, затем через усилитель на цифровые вольтметры, на одном из которых отображается мнимая составляющая, а на другом - вещественная.

Как видно из графиков информативными параметрами являются мнимая и вещественная составляющая ЭДС. Так же можно сделать вывод, что при увеличении скорости мнимая составляющая ЭДС уменьшается, так как увеличивается мешающий сигнал, т.е. вещественная составляющая. Таким образом, можно сказать, что измерение лучше проводить на меньших скоростях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
2. Методы измерения неэлектрических величин: учебное пособие / И.Г.Лещенко, Б.Б.Винокуров; Томск; изд-во ТПИ, 1984.-57с.
3. Методы и средства контроля в кабельной промышленности. Сборник методических указаний по выполнению лабораторных работ по программе магистерской подготовки / В.В.Редько, Е.М.Федоров; Томск; изд-во ТПУ, 2007.- 55с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОГО ПЬЕЗОЭФФЕКТА НА ПРИМЕРЕ КРИСТАЛЛА КВАРЦА И ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

Денисова А.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

Пьезоэлектрическими свойствами обладают некоторые природные кристаллы: кварц, турмалин и др., а так же искусственно создаваемые и специально поляризуемые в электрическом поле поликристаллические материалы (пьезокерамики): титанат бария, титанат свинца и др.

Основными достоинствами кварца (Рис. 1) является высокая твердость, нерастворимость в воде, устойчивость к действию ряда кислот, малое тепловое расширение, чрезвычайно высокая механическая добротность и стабильность параметров.

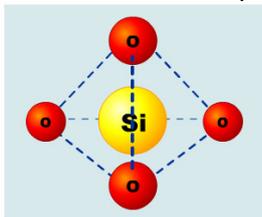


Рис.1. Структурная решетка кварца

Однако коэффициент электромеханической связи кварца примерно на порядок меньше, чем соответствующие параметры у пьезокерамики. Кроме того, недостатком кварца являются малая диэлектрическая проницаемость и собственная емкость кварцевых пластинок, в результате чего шунтирующая емкость кабеля и выходных цепей измерительных устройств значительно уменьшает чувствительность преобразователей.

Еще одним недостатком кварцевых преобразователей является их высокая стоимость и сложная технология изготовления.

Поэтому наиболее перспективным пьезоэлектрическим материалом является пьезокерамика.

Пьезокерамика - это поликристаллический сегнетоэлектрик, представляющий собой химическое соединение или твердый раствор (порошок) зерен (кристаллитов).

По химическому составу это сложный оксид, включающий ионы двухвалентного свинца или бария, а также ионы четырехвалентного титана или циркония (рис. 2).

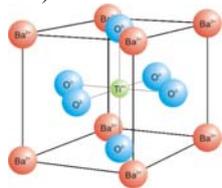


Рис. 2. Структурная решетка титаната бария

Путем изменения основного соотношения исходных материалов и введения добавок синтезируют разные составы пьезокерамики, обладающие

определенными электрофизическими и пьезоэлектрическими характеристиками.

В настоящее время пьезокерамика может стать достойной заменой натуральных пьезоэлектрических кристаллов.

Пьезокерамика обладает многими достоинствами: пьезокерамические элементы исключительно стойки к действию различных агрессивных сред, имеют высокую разрешающую способность, широкий диапазон рабочих температур, а также широкий диапазон измерения, охватывающий несколько десятичных порядков. Кроме того, пьезоэлектрическая керамика это материал совершенно нечувствительный к влажности и другим атмосферным воздействиям. Неоспоримыми преимуществами пьезокерамики по сравнению с монокристаллами являются ее технологичность и дешевизна, за счет чего удается значительно снизить стоимость преобразователей на ее основе.

Недостатком пьезокерамики, по сравнению с кварцем, является низкое значение точки Кюри T_K (для кварца $T_K=570^\circ\text{C}$, для пьезокерамики на основе титаната бария в пределах $100-200^\circ\text{C}$).

Пьезоэлектрические элементы широко используются в измерительной технике, в качестве чувствительных элементов датчиков силы и момента.

Чтобы оценить возможности и перспективы использования пьезокерамических элементов наряду с кварцевыми, был проведен компьютерный эксперимент – численное моделирование обратного пьезоэффекта на примере кристалла кварца и титаната бария.

Основные характеристики пьезоэлектрических материалов, при температуре $16-20^\circ\text{C}$, представлены в таблице 1.

Численное моделирование обратного пьезоэффекта производилось в программном продукте COMSOL Multiphysics.

В качестве чувствительного элемента было взято кольцо, выполненное из пьезоэлектрического материала, к граням которого подводился электрический потенциал, равный 1В.

Анализируя общий характер деформации кольца (рис.3), можно отметить, что внешние края чувствительного элемента подвержены большей деформации. Следует также отметить, что общий характер деформации чувствительного элемента одинаков для обоих материалов. Зависимости деформации кварцевого и пьезокерамического колец приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно. Однако, количественные значения деформации чувствительного элемента для разных материалов различны. Для кварцевого кольца максимальное значение деформации равно $3.3 \cdot 10^{-8}$ мм, для пьезо-

керамического – $3.2 \cdot 10^{-5}$ мм. Эти различия обусловлены свойствами рассматриваемых материалов (таблица 1).

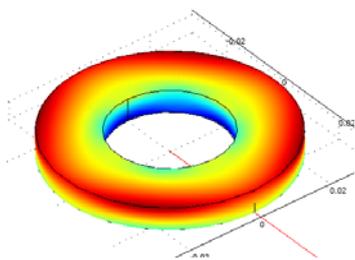


Рис. 3. Общий характер деформации кольца

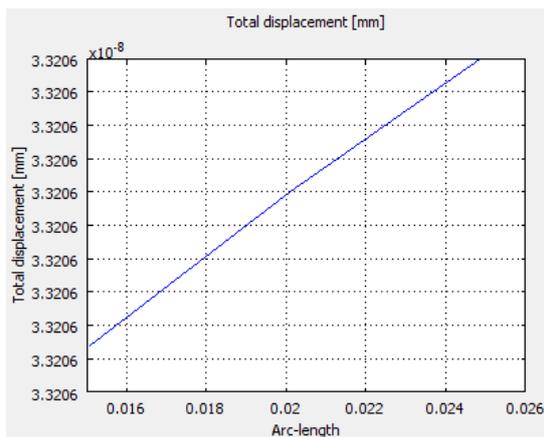


Рис. 4. График деформации кварцевого кольца

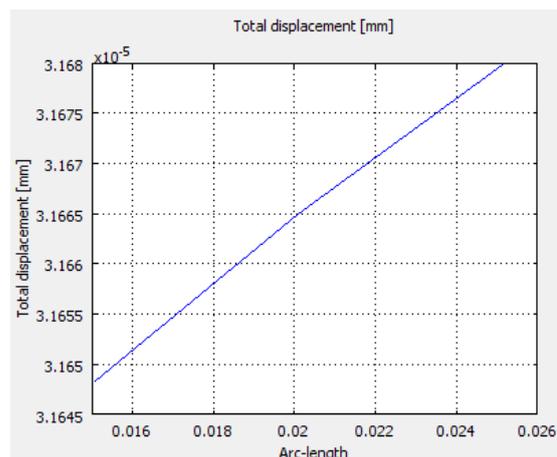


Рис. 5. График деформации пьезокерамического кольца

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что искусственные пьезоэлектрические материалы по своим характеристикам не уступают природным кристаллам, а по некоторым параметрам превосходят их. Именно поэтому, благодаря своим уникальным свойствам и низкой стоимости пьезокерамика находит все большее применение в различных областях техники и технологии.

Материал	Коэффициент электромеханической связи	Относительная диэлектрическая проницаемость	Плотность, 10^{-6} кг/м ³	Пьезомодуль d, 10^{-12} Кл/Н	Относит. отклонение частоты при температуре -60..+85°C, %	Тангенс угла диэлектрических потерь, 10^{-2}	Водопоглощение, %	Модуль Юнга, 10^{11} , Н/м ²	Электрическая прочность, 10^6 , В/м	Температура точки Кюри, °C	Скорость звука, 10^3 м/с	Механическая добротность
Кварц	0.09	4.5	2.6	2.3	10	≤ 0.5	0.6	80	1	570	5.5	10^5
Титанат бария	0.2	1500	5.3	45	14.5	2	0.2	-	3.0	110	4.5	100

Список литературы:

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П. Пьезоэлектрические датчики. - Москва: Техносфера, 2006. - 632с.
2. Денисова А.А. Пьезокерамика и перспективы ее применения// Труды XVII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник трудов. Том 1. – Томск, НИТПУ, 2011, с. 182-183
3. Пьезоэлектрические материалы – Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru/пьезоэлектрические%20материалы/>. Дата посещения 16.02.2012

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН НА БАЗЕ УПРАВЛЯЕМОГО ПО СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СТУДЕНЧЕСКОГО МИНИСПУТНИКА

Дмитриева Е.М.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н. профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: k.d.tomsk@mail.ru

В настоящее время в Национальном исследовательском Томском Политехническом Университете (НИТПУ) рассматривается создание студенческого миниспутника (СМС). Аналогичные спутники уже запущены такими университетами как: Военным инженерно-космическим имени А.Ф. Можайского (спутник «Можаяец»), МГУ имени М.В.Ломоносова (спутник «Татьяна»), МГТУ имени Н.Э.Баумана (спутник «Бауменц»), Информационными спутниковыми системами имени академика М.Ф.Решетнёва совместно с группой высших учебных заведений России (спутник «Юбилейный»), Европейским Космическим Агентством при участии 15 студенческих групп из 9-ти европейских государств (спутник SSETI Express). Предполагается что целевое назначение студенческого миниспутника – мониторинг территории Томской области.

Как и любой космический аппарат (КА) миниспутник содержит комплекс приборов и устройств, обеспечивающих функционирование и ориентацию СМС [1].

Одним из функциональных узлов, с помощью которого будет осуществляться управление СМС – электромеханический исполнительный орган (ЭМИО). Создаваемый ЭМИО для СМС должен обеспечивать требуемую точность положения вектора кинетического момента H , быстродействие, линейность характеристик, иметь минимальные габариты и массу, требуемый диапазон величин управляющих моментов, заданную область вариации кинетического момента, оптимальные динамические качества, необходимый ресурс и надёжность [2].

Создание и получение оптимальных характеристик исполнительного органа являются предметом проводимых исследований, которые определяют уровень разработки ЭМИО.

Целью диссертационной работы является аналитическое конструирование ЭМИО на базе управляемого по скорости двигателя-маховика (УДМ) для СМС.

УДМ широко используется во всех системах ориентации длительно существующих околоземных КА и орбитальных космических станций. Это обусловлено требованием высокой точности ориентации, надёжностью, экологической чистотой и возможностью сохранения «прозрачной среды» вокруг объекта, необходимой для работы бортового оптического оборудования. На рисунке 1 приведён общий вид УДМ в гермокожухе.



Рис.1. Управляющий электродвигатель-маховик (УДМ)

Основным типом электродвигателя УДМ, исходя из вышеизложенных требований, в настоящее время, широко используется бесконтактный двигатель постоянного тока.

Управление СМС в соответствии с принципом работы УДМ будет осуществляться в режиме разгона-торможения. Основные технические характеристики ЭМИО для СМС: вес не больше 1 кг, ресурс до 3 лет, кинетический момент $H=0,5$ Нмс, управляющий момент $M_{упр}=0,1$ Нм, потребляемая мощность $P < 10$ Вт. Исходя из этих требований была проведена расчётно-конструкторская проработка двигателя-маховика (рис.2).

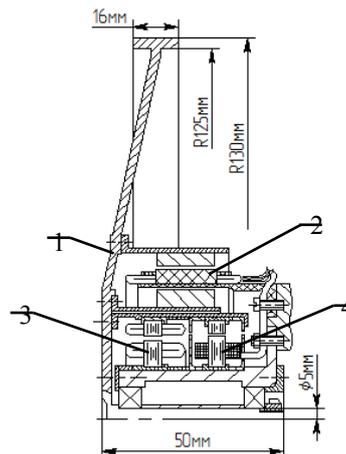


Рис.2. Двигатель-маховик (1- маховик, 2 - электродвигатель, 3 - датчик положения ротора, 4 - датчик скорости)

Ниже приведена в каноническом виде математическая модель (1), описывающая комплекс основных эксплуатационных характеристик УДМ [2]:

$$\begin{aligned}
 D &= f(H, \gamma, h, D_n, \Omega); \\
 m &= f(H, \gamma, \Omega, D_{cp}); \\
 h &= f(H, \gamma, D_n, D_v, \Omega); \\
 N &= f(\Omega, f_c, i_m, z, d_{ш}, H, M_{упр}, K_p, K_o); \\
 P &= f(\Omega, D_n, d_{ш}, K_{кач}, \rho, h, M_{упр}); \\
 \sigma &= f(\Omega, \gamma, D_n, 1/g); \\
 \Omega_{кр} &= f(1/E, D_n, D_v, m_{max}, \gamma),
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где D, h, m - наружные размеры и масса УДМ; N - ресурс; P - мощность; σ - напряжение в ободе маховика; $\Omega_{кр}$ - критическая скорость маховика; γ - удельная масса материала; D_n, D_v - наружный и внутренний диаметры маховика; H - кинетический момент; Ω - угловая скорость; f_c - число дней работы в году; i_m - количество рядов шариков в подшипнике; z - количество шариков; $d_{ш}$ - диаметр шарика; $K_{кач}$ - коэффициент трения качения; ρ - аэродинамический коэффициент; $M_{упр}$ - управляющий момент; g - гравитационная постоянная; K_p, K_o - коэффициенты радиальной и осевой нагрузок; E - модуль первого рода; m_{max} - масса маховика.

Как видно из (1) все характеристики связаны между собой как прямой, так и обратной зависимостями, т.е. улучшение одних параметров может привести к ухудшениям других.

Конструктивной особенностью проектируемого двигателя-маховика является широкое применение композиционных материалов для всех материалоёмких и несущих элементов конструкции. На рисунке 3 приведена 3D модель маховика, проектируемого УДМ, выполненная в программе T-Flex.

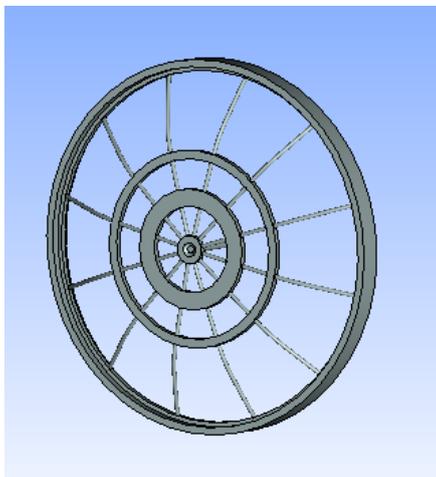


Рис.3. 3D модель маховика

Маховик является носителем кинетического момента H , поэтому особое внимание уделяется его массогабаритным характеристикам конструкции и выбору конструктивных материалов [3]. В данном случае было принято решение, что обод маховика, вал и два кольца будут выполнены из стали 20Х13, а стержни из боралюминия.

Ещё одной из главных задач при проектировании УДМ является определение расчётной долговечности.

Для данного УДМ надёжность $P(t)$ рассчитана по методу вероятности отказа шарикоподшипников и составляет для 3 лет 92% (рис.4) [4].

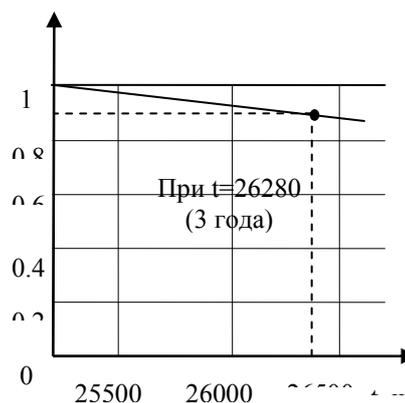


Рис.4. Вероятность безотказной работы

По полученным расчётным эксплуатационным характеристикам проектируемый УДМ соответствует современному техническому уровню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Под редакцией А.С. Сырова – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304с.
2. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами (Исполнительные органы: назначение, принцип действия, схемы, конструкция): Учебное пособие. – Томск: Изд.ТПУ.2000.-207с.
3. Бабаев Н.Ф., Ерофеев В.М. и др. Расчёт и проектирование элементов гироскопических устройств: Изд-во Машиностроение, Ленинград. 1967.Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С.,
4. Ковалёв М.П. Опоры и подвесы гироскопических устройств: Изд-во Машиностроение, Москва. 1970.

РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВ: КОРРЕЛЯЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СДВИГОВАЯ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

Еремин А.В., Бурков М.В.,

Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор
ГОУ ВПО НИ ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,
ИФПМ СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4

E-mail: iyehjr1990@mail.ru

Введение

Создание новых и совершенствование имеющихся конструкционных материалов обуславливает необходимость установления корреляционной связи между их структурой и свойствами, что может быть достигнуто, в том числе, исследованиями их деформационного поведения. Для решения этой задачи могут быть привлечены разные методы неразрушающего контроля, которые позволяют регистрировать процессы, происходящие в материале, непосредственно при нагружении (in situ). В литературе описаны результаты применения разнообразных методов: магнитных, акустических, оптических, радиационных и др. Оптические методы в этом ряду выгодно отличаются наглядностью и достоверностью наблюдаемых процессов, возможностью прямого измерения дефектов, а также получения количественной оценки деформации и пр. В данной статье освещены результаты использования двух оптических методик для изучения деформационного поведения образцов углепластиковых композитов: корреляции цифровых изображений (DIC) и ширографии.

Метод корреляции изображений активно используется для исследования поведения различного рода материалов при разных способах нагружения, в том числе, при совместном использовании с тензометрией и акустической эмиссией. Такие исследования проведены на образцах алюминиевого сплава с различными концентраторами напряжений [1]. Такой подход с использованием DIC не лишен ряда недостатков: в частности, высокими требованиями к подготовке поверхности; недостаточная разрешающая способность при наблюдении за большими участками образца и др. В качестве альтернативы может быть применен другой оптический метод оценки деформации - сдвиговая спекл-интерферометрия или ширография (от слова shear - сдвиг).

Развитие лазерной и компьютерной техники, в сочетании с использованием новых подходов к алгоритмам обработки цифровой информации расширили возможности практического применения ширографии, а также достоверность и точность получаемых результатов. Основными преимуществами метода являются более высокая точность оценки деформации, бесконтактный способ получения данных, что позволяет напрямую измерять градиенты деформации в реальном времени.

Основным носителем информации в ширографии является разность фаз до деформации и после в каждой точке ($\Delta = \varphi_1 - \varphi_2$). При этом ширография

позволяет измерять, как плоскостную, так и внеплоскостную деформацию. Более подробная информация об аппаратной реализации, принципах действия, методике расчета и возможных областях применения изложена в [2].

Целью данной работы является: исследование поведения при нагружении образцов углерод-углеродных композиционных материалов с концентратором напряжений в форме V-образного надреза, а также, а также создание и тестирование установки для цифровой ширографии.

Материалы и методика экспериментов

Основы использованного в работе метода картирования деформации на поверхности подробно изложены в статье [3]; напомним, что результатом работы метода является распределение интенсивности деформации сдвига γ .

Метод корреляции цифровых изображений применялся для оценки деформации в образцах, представляющих собой псевдоизотропный композит из слоев однонаправленных углеродных лент $[0^\circ, 45^\circ, -45^\circ, 90^\circ]$, спеченных в углеродной матрице, при нагружении трехточечным изгибом. Схема образца представлена на рисунке 1. Глубина надреза составляла 1, 2 и 3 мм для трех различных образцов.

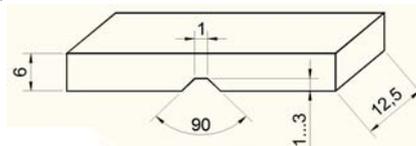


Рисунок 1. Образец для испытаний на трехточечный изгиб

Испытания на трехточечный изгиб проводили на электромеханической машине Instron 5582 со скоростью перемещения подвижного захвата 0,1 мм/мин. Данные тензометрии регистрировали с использованием штатного оборудования испытательной машины – встроенного тензодатчика.

Регистрацию оптических изображений боковой поверхности образца проводилось с помощью фотокамеры Canon EOS 550D, оснащенной длиннофокусным объективом Canon EF-S 100-400 mm 1/4-5.6 IS через каждые 5 секунд в течение всего времени испытания. Области для расчета интенсивности деформации выбирались так, чтобы V-образный надрез находился в центре кадра. В итоге область видеорегистрации имела размеры 12×6 мм, что в пикселях составляет 5742×2871.

Для тестирования устройства цифровой ширографии проводили сжатие образца из композиционного материала на основе углеродного волокна с

матрицей в виде эпоксидной смолы на электро-механической машине Instron 5582 со скоростью перемещения подвижного захвата 0,1 мм/мин. Размеры и форма образца изображены на рисунке 2.

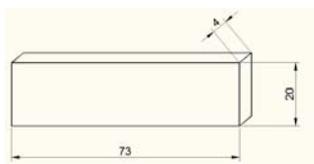


Рисунок 2. Образец для испытания на сжатие

Исследуемую поверхность освещали лазером с длиной волны 650 нм под углом, составляющим примерно 80-85° к поверхности образца, в то время как отраженные лучи принимались системой, находящейся перпендикулярно к поверхности. Оптический приемник создан на основе интерферометра Майкельсона с одним зеркалом, повернутым относительно стандартного положения. Регистрация интерференционной картины проводилась на фотокамеру Canon EOS 550D в виде отдельных фотографий с интервалом в 5 секунд. После чего эти фотографии проходили обработку в пакете Adobe Photoshop, в частности проводилось вычитание спекл-картин и их перевод в полутоновой формат.

Результаты экспериментов

По результатам расчетов интенсивности деформации по интегральной методике SSImax была получена зависимость значений деформации γ от относительного удлинения (ϵ) и представлена на рисунке 3 в виде графика (3). Кривые (1) и (2) описывают зависимости « σ - ϵ » и « $d\sigma/dt$ - ϵ » соответственно.

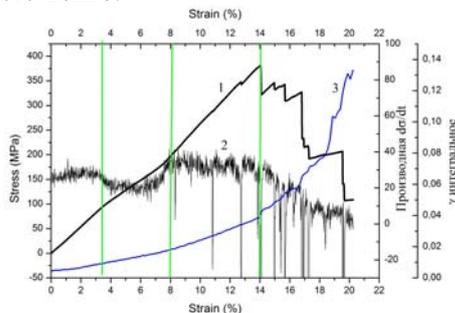


Рисунок 3. Диаграмма нагружения образца при трехточечном изгибе. 1-внешнее деформирующее напряжение (σ), 2-производная ($d\sigma/dt$) и 3-интегральный расчет интенсивности деформации сдвига. Глубина надреза – 3 мм

Процесс деформирования можно разбить на 3 характерных этапа (стадии) по значениям производной от напряжения ($d\sigma/dt$), которые достаточно удовлетворительно аппроксимируются прямыми линиями. Переход от одной стадии к другой связан с переходом ведущей роли деформации от меньшего к большему масштабному уровню. При уменьшении глубины пропила наблюдается со-

хранение стадийности, но продолжительность всех стадий постепенно увеличивается.

С использованием устройства для цифровой широкографии были получены ряд картин: рисунок 4 слева - спекл картина поверхности без нагружения и справа - под нагрузкой.

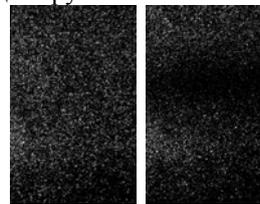


Рисунок 4. Широграмма при сжатии композита слева – до нагружения, справа – после нагрузки

Видно, что при некоторой степени деформации на широграмме выявляется темная область, где, по нашему мнению, деформация развивается локализованно. При дальнейшем увеличении нагрузки эта «область» перемещается вдоль образца, а затем исчезает. Таким образом, созданная система позволяет выявлять формирование зон локализации, для которых требуется получение оценки уровня деформации, что является предметом наших дальнейших исследований.

Выводы:

С использованием двух оптических методов проведены исследования деформационного поведения образцов углепластиковых композитов при трехточечном изгибе и сжатии. Показано, что стадийность зависимости интенсивности деформации сдвига при трехточечном изгибе неплохо коррелирует с таковой, по данным производной от напряжения. Предварительные данные тестирования устройства цифровой широкографии свидетельствуют о возможности выявления зон локализации деформации. Дальнейшая перспектива работ здесь связана с усовершенствованием аппаратуры для увеличения соотношения сигнал-шум, а также развития алгоритмов оценки деформации.

Список литературы:

1. Панин С.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Башков О.В. Стадийность локализованной пластической деформации при растяжении образцов сплава Д16АТ по данным акусто-эмиссии, картирования деформации на поверхности и тензометрии. Часть 1. Образцы с отверстиями различного диаметра. // Дефектоскопия, 2011, №9. – С. 47-61
2. Wolfgang Steinchen, Lianxiang Yang. Digital shearography. Theory and application of digital speckle pattern shearing interferometry // SPIE – The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2003
3. С.В. Панин, П.С. Любутин. Верификация метода оценки деформации на мезоуровне, основанного на построении полей векторов перемещений участков поверхности // Физическая мезомеханика, том 8, №2, 2005. - с. 69-80.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Займукова Е.А., Шеболтаева Е.В.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kzaimykova@mail.ru

С развитием космической техники повышаются требования к точности, надежности, массе и ресурсам системы ориентации космических аппаратов (КА) для геостационарной орбиты. Строгое лимитирование запасов энергии на борту КА с длительным сроком активного существования, а также повышенные требования к точности ориентации приводят к необходимости использования в системах ориентации исполнительных органов (ИО).

Исполнительные органы на базе силовых гироскопов применяются для управления ориентацией КА, для которых кинетический момент измеряется в диапазоне от 1 до 50 Нмс.

Проектирование исполнительных органов – процесс сложный, трудоемкий и требует большого количества конструкторских проработок, макетирования и испытаний, на которых подтверждается правильность принятых технических решений.

ИО – многомерная механическая система и ее технические характеристики связаны между собой как прямой, так и обратной зависимостями. Ресурс и габариты гиродвигателя связаны через величину кинетического момента и угловую скорость вращения маховика. Обеспечение требуемой величины ресурса невозможно вариацией угловой скорости маховика и его диаметра. Чем больше скорость, тем меньше ресурс шарикоподшипниковых опор; чем больше эта скорость, тем больше требуется диаметр, чтобы получить минимальную массу обода маховика и, следовательно, исполнительного органа в целом.

Технические характеристики ИО условно можно разделить на две группы. В первую входят параметры, характеризующие динамические свойства механической системы "космический аппарат - ИО" (кинетический момент H , электродинамический момент реверсивного двигателя-маховика, жесткость кинематической цепи). Вторая включает эксплуатационные характеристики (масса, габариты, потребляемая мощность, точность положения и углы отклонения вектора H , ресурс, надежность, экономичность) [1].

Проектируемый ИО должен генерировать кинетический момент 50 Нмс, обеспечивать ресурс не менее 15 лет при потреблении электрической энергии 30 Вт мах и управляющем моменте 0,3 Нм. Управление ориентацией КА производится относительно осей рыскания и крена.

В результате проведенного анализа кинематических схем выбрана кинематическая схема, представленная на рис.1.

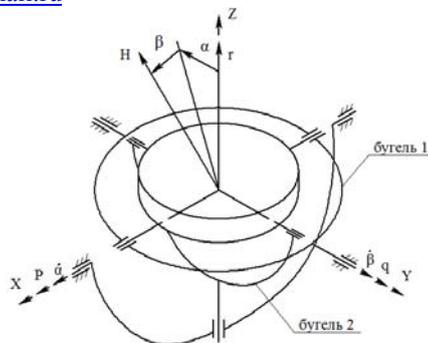


Рис.1. Кинематическая схема ИО на базе трехстепенного гироскопа

Управление по оси Z производится изменением угловой скорости гиромаховика, а по осям X и Y – приложенными относительно осей подвеса моментами, программно изменяющими углы α и β . Численно равные и ортогонально направленные моменты прикладываются к корпусу КА и тем самым осуществляется угловое движение относительно его центра масс [2].

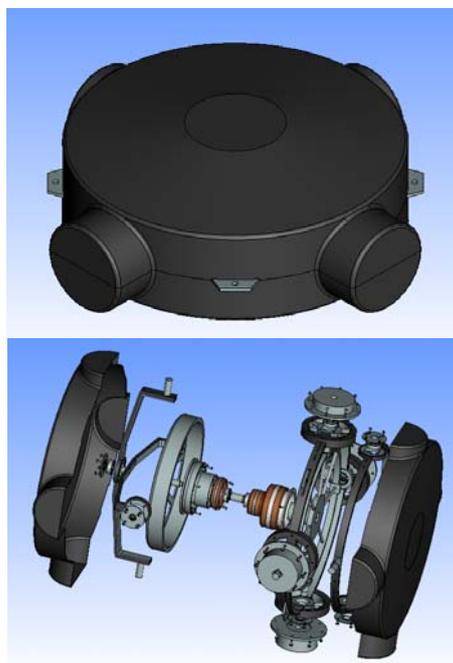


Рис.2. 3D-модель исполнительного органа, спроектированная в T-FLEX CAD

Схема обладает хорошими потенциальными возможностями для унификации конструкции, так как в имеющуюся конструкцию карданова подвеса

можно легко встраивать моментные устройства как активного, так и пассивного типа.

Получение оптимального комплекса характеристик невозможно без радикального изменения технологии проектирования на основе систематического применения вычислительной техники. Наилучшее решение этой задачи - применение современной САД-системы, обладающей мощными параметрическими возможностями. Такой системой является T-Flex CAD 2D/3D, позволяющая на основе одной 3D-модели (сборки) получить большое количество проектных решений с рассчитанными параметрами.

На рис.2 представлена трехмерная модель исполнительного органа, созданная в САПР T-FLEX CAD.

Основой электромеханического ИО является гидродвигатель (рис.3), состоящий из следующих функциональных узлов: электропривод, датчик положения ротора и маховик, установленные на корпусе.

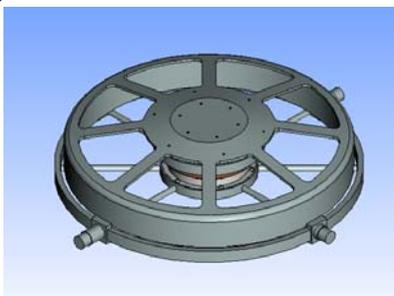


Рис.3. 3D-модель гидродвигателя

Гидродвигатель состоит из электродвигателя, вращающего маховик со скоростью $\Omega=8000$ об/мин, и генерирующий кинетический момент $H=50$ Нмс, чтобы создать управляющие гироскопические моменты относительно осей рыскания и крена.

Маховик выполнен заодно с валом и установлен в шарикоподшипниковые опоры. Электропривод маховика представляет собой бесконтактный двигатель постоянного тока.

Подвес гидродвигателя (рис.4) состоит из внутренней и наружной рамок, которые составляют карданов подвес. Рамки установлены в шарикоподшипниковые опоры, что дает им возможность поворота вокруг своих осей. Для передачи движения на внутреннюю ось рамки карданова подвеса установлено бугельное устройство, состоящее из внутреннего и наружного бугеля. По осям рамок подвеса установлены датчики угла и приводы вращения рамок.

Собранный исполнительный орган закрывается кожухом для защиты от внешних воздействий.

Внутренняя и наружная рамки ИО являются составными: обод выполнен из алюминия и современного композиционного материала – углепластика. Это позволяет значительно уменьшить мас-

су и увеличить прочность материалоемких деталей и силовых конструкций.

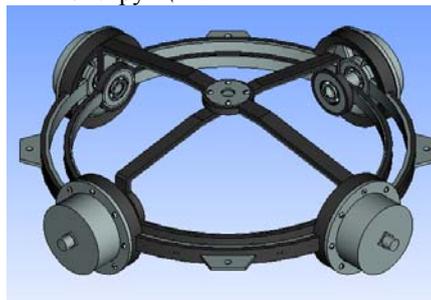


Рис.4. 3D-модель двухосного подвеса гидродвигателя с функциональными элементами

Спроектированная модель исполнительного органа – параметрическая: изменение одного параметра (наружного диаметра маховика) приводит к автоматическому перестроению всей конструкции ИО в целом и автоматическому пересчету эксплуатационных характеристик, зависящих от геометрии конструкции.

На этапе проектирования основные элементы ИО - маховик, корпус гидродвигателя и рамки карданова подвеса предварительно исследовались в модуле T-Flex/Анализ с целью соответствия собственных частот требованиям, предъявляемым к космической технике. На рис.5 представлены результаты частотного анализа корпуса гидродвигателя. Собственная частота равна 166,5 Гц.

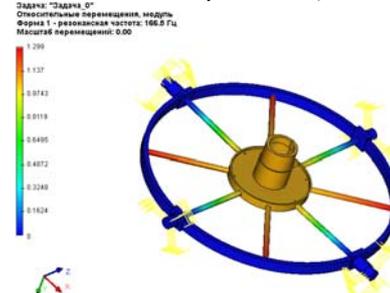


Рис.5. Результаты частотного анализа корпуса гидродвигателя

Таким образом, проектирование ИО системы ориентации КА эффективно осуществляется с использованием современных технологий, основанных на 3D-моделировании в САД-системе, обладающей необходимым функционалом для всех этапов проектирования.

Список литературы:

1. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами. - Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Займукова Е.А., Шеболтаева Е.В. Электромеханические исполнительные органы системы ориентации космического аппарата для геостационарной орбиты//Современные техника и технологии. Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд. ТПУ, 2011.Т.1.С 464-466.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАДИОКАНАЛОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ

Кадалова Е.В.

Научный руководитель: Степанов А.Б, ст. преподаватель
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634034, Россия, г.Томск, пр.Ленина 30
E-mail: pomidorka_1@sibmail.com

В настоящее время одним из перспективных секторов рынка в России является автоматизация учёта потребления ресурсов в области жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Причем данная проблема актуальна для всех сторон – это поставщики ресурсов или услуг, посредники-распределители и потребители. Одним требуется как можно более полный учёт потребления, другим важна динамика потребления ресурсов и низкая стоимость внедрения и эксплуатации систем учёта, прочие заинтересованы в формировании тарифов и начисления счетов.

Основные ресурсы контроля – вода, газ, тепло и электроэнергия. Системы, автоматически контролирующие все эти ресурсы, охватывают три уровня, такие как уровень сбора информации, уровень передачи информации и уровень накопления, анализа и хранения информации [1].

При этом с точки зрения инженера наиболее интересны первые два уровня. В них входит размещение датчиков, организация передачи данных и совместная их работа. При этом практикуется как поквартирный учёт, так и подомовой учёт ресурсов.

Традиционным решением являются проводные каналы связи, на базе интерфейсов Ethernet, RS-232, RS-485, USB и многие другие. Такие каналы характеризуются высокой скоростью передачи данных (до десятков Мбит/с) и дальностью передачи (до нескольких километров).

Все чаще применяются беспроводные сети передачи данных, так как не требуют времени и средств на прокладку кабеля. Это всевозможные охранные системы, беспроводные системы доступа, разнообразная бытовая и промышленная автоматика. Преимуществом радиоканала является отсутствие требований прямой видимости между устройствами.

На сегодняшний день разработчик имеет множество альтернативных систем для беспроводной передачи данных, во всем мире предоставляются так называемые нелицензируемые (ISM - Industrial, Scientific, Medical) радиочастотные диапазоны. Например, радиомодем с собственным протоколом в диапазонах 27 МГц, 142-172 МГц, 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц и 2400 МГц; системы передачи данных на основе стандартов ZigBee/802.15.4, Bluetooth, Wi-Fi и даже Wi-Max.

Промышленность выпускает широкий круг радиопередающих приборов, действующих на расстоянии от одного до нескольких сотен метров и даже десятков километров, отличающихся скоростью передачи данных, мощностью передатчика,

рабочим диапазоном частот, конструктивным исполнением. Появление приемопередающих устройств, выполненных в виде одной интегральной или гибридной микросхемы, не требующих настройки, и предполагающих подключение минимального количества внешних элементов, позволяет максимально упростить конструирование радиомодемов. Подобные устройства выпускаются фирмами Infineon Technologies AG, Gran-Jansen AS, Xemics, RF Monolithics Inc., Microchip, Maxim, Telectrolli и др.

Пропускная способность канала, дальность связи, стоимость элементной базы и вопросы лицензирования – все эти параметры имеют зависимость от используемой частоты.

Радиочастотный диапазон для России 433,075-434 МГц, 868,7869 МГц, 2,4 ГГц. Эти частоты могут использоваться без оформления соответствующего разрешения Государственной комиссии по радиочастотам при условии соблюдения требований по ширине полосы излучаемой мощности: до 10 мВт для диапазона 433 МГц, до 25 мВт для диапазона 868 МГц и до 100 мВт в 2,4 ГГц.

Поскольку требования к пропускной способности не велики и вопрос цены и требование безлицензионного применения является существенным, то разумным будет использовать диапазон 433 МГц.

Преимуществом так же является большое число производителей радиочастотных модулей. Радиочастотные модули очень просты в применении – для включения достаточно подать питание и подключить антенну [2].

Так как использование частоты 433 МГц очень велико, то она является «засоренной», и поэтому разумней использовать диапазон 868 МГц, тем более что в России с 2008г. разрешена мощность в 2,5 раза больше, чем в 433 МГц. Это приводит к тому, что антенны становятся менее громоздкие, а также с увеличением радиочастоты уменьшается уровень фоновых и индустриальных помех.

Так, например, система «Siemеса» (концерн Siemens) позволяет получать показания счетчиков за потребление коммунальных услуг с использованием диапазона 868 МГц. Сбор данных может осуществляться либо локально, либо из любой точки (в этом случае данные передаются по каналам GSM, GPRS, компьютерным сетям или широкополосным кабельным сетям). Российскими аналогами данной системы являются такие системы, как: «Солярис», «Пульсар» и «Альфа-ISM».

В полосе частот 2400-2483,5 МГц используется новая технология - ZigBee построения беспроводных сетей передачи данных, в семействе IEEE 802.15 Low Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN - беспроводные персональные вычислительные сети). ZigBee являются самоорганизующимися и самовосстанавливающимися сетями, что значительно облегчает установку системы, т.к. узлы способны самостоятельно определять и корректировать маршруты доставки данных.

Большинство беспроводных систем функционируют в нелицензируемом диапазоне ультравысоких частот 2,4 ГГц. Из-за насыщенного трафика возрос интерес к диапазонам ISM, расположенным на более низких частотах — 433 и 868 МГц. В отличие от диапазона 2,4 ГГц, единого глобального стандарта, регламентирующего работу устройств в более низких ISM ультравысоких частотных диапазонах, нет.

Следовательно, разработчики должны проектировать свои системы таким образом, чтобы они могли адаптироваться к регламентам конкретного региона. Эта задача в значительной степени упростилась с появлением трансиверов диапазона ISM с гибкими возможностями, таких как ADF7020 [3], который способен работать в диапазоне частот от 433 до 960 МГц в сочетании мощного процессора семейства Blackfin ADSPBF531 [4].

Используя процессор Blackfin в связке с интегральной схемой приемопередатчика ISM-диапазона ADF7020, типичная дальность действия которого составляет порядка нескольких сотен метров, разработчик может перейти от своей проводной системы к беспроводной без потерь в качестве обслуживания. Кроме того, благодаря высокому быстродействию, на процессоре ADSPBF531 могут быть реализованы протоколы для поддержки различных конфигураций и топологий беспроводных сетей (точка-точка, многоточечные и широкоэвещательные системы), а также сложные алгоритмы шифрования и кодирования/декодирования источника.

На рисунке 1 показана подробная блок-схема беспроводного цифрового модема, построенного на базе приемопередатчика ISM-диапазона ADF7020 и выполняющего роль контроллера ADSPBF531. Эти два кристалла питаются от одного источника напряжения ($2,3 \text{ В} < V_{CC} < 3,6 \text{ В}$), а операции управления и обмена данными между ними осуществляются через непосредственные связи с помощью флагов (цифрового порта ввода/вывода общего назначения) и синхронного последовательного порта (SPORT0) процессора ADSPBF531.

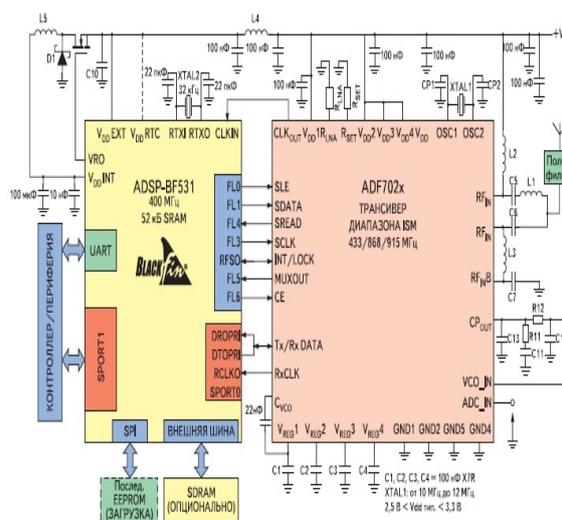


Рис. 1 Блок-схема модема

Интегральная схема ADF7020 — это полнофункциональный полупроводниковый радиотрансивер, изготавливаемый по технологии КМОП 0,25 мкм. Он способен работать в европейских ISM-диапазонах 433 и 868 МГц и североамериканском диапазоне 902–928 МГц. Микросхема обладает большой степенью гибкости, что позволяет пользователю конфигурировать ее с учетом требований конкретного приложения. Например, имеется возможность выбора из нескольких форматов модуляции — частотной манипуляции (FSK), гауссовой частотной манипуляции (GFSK), амплитудной манипуляции (ASK и OOK). Пользователь также может варьировать соотношение между чувствительностью и избирательностью, что весьма полезно для систем, в которых предъявляются жесткие требования к линейности. Максимальная скорость передачи данных ADF7020 составляет 200 кбит/с; родственная микросхема ADF7025 имеет еще большую скорость передачи — 384 кбит/с.

Уникальная комбинация трансивера диапазона ISM ADF7020 и процессора Blackfin ADSPBF531 дает превосходные показатели качества радиоканала при привлекательной цене. Подобная схема обладает очевидной гибкостью и может применяться в самых разнообразных цифровых системах беспроводной передачи данных в диапазоне ISM.

Список литературы:

1. www.compeljournal.ru/enews/2011/7/5
2. http://gsm.contrel.ru/info/articles/article_2/
3. <http://www.analog.com/en/prod/0,2877,ADF7020,0,00.html>
4. <http://www.analog.com/processors/blackfin/index.html>

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НОВЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ЦИНКА

Камрикова А.А., Вильчинская С.С.

Научный руководитель: Вильчинская С.С., доцент, к.ф.м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aidanabrilliant@mail.ru

Введение

В последние годы в связи с угрозой международного терроризма резко возросла потребность в современных средствах контроля груза, в частности ручного, на таможенных, в аэропортах и т.п. Среди этих средств на первом месте – рентгеновские интроскопы, чувствительным элементом которых являются детекторы типа «сцинтиллятор-фотодиод». Наиболее перспективными являются приборы контроля, созданные на основе сцинтилляторов. Поэтому вопросы создания новых высокоэффективных сцинтилляторов, изучение их свойств и разработка технологии их изготовления, несомненно, актуальны на сегодняшний день.

Целью работы является исследование спектрально-кинетических характеристик импульсной рентгенолюминесценции (ИРЛ) легированных изовалентными примесями (ИВП) кристаллов ZnSe, которые в составе детекторов ионизирующих излучений предлагается использовать в электронном и ядерном приборостроении.

Методика эксперимента

Для исследования свечения активированных кристаллов ZnSe использовалась методика импульсной люминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением [1]. Источником наносекундного электронного пучка служил импульсный ускоритель электронов с параметрами: средняя энергия электронов 0,3 МэВ, длительность импульса ~ 10 нс. Рентгеновское излучение формировалось путем торможения электронного пучка в медном аноде толщиной 100 мкм. Плотность энергии рентгеновского излучения достигала $\sim 10^{-4}$ Дж/см². Свечение образца регистрировалось ФЭУ-84 и осциллографом Tektronix TDS 2022. Спектры поглощения исследуемых кристаллов измерялись на спектрофотометре СФ-256.

В качестве исследуемых образцов использовались специально не легированные кристаллы ZnSe и легированные различными ИВП. С целью улучшить сцинтилляционные характеристики материала (увеличить световой выход, увеличить быстродействие) в Институте сцинтилляционных материалов НАН Украины [2] были получены новые полупроводниковые материалы на основе селенида цинка с активирующими добавками бария, цезия, галлия, самария, европия.

Легированные кристаллы ZnSe были выращены из расплава. Уровень легирования ИВП составлял $\sim 10^{20}$ см⁻³.

Результаты и их обсуждение

Край поглощения кристаллов несет в себе важную информацию о ширине запрещенной зоны и

присутствии дефектов в кристаллической решетке. Из рис. 1 видно, что край поглощения кристаллов, выращенных из расплава, значительно сдвинут в длинноволновую область по сравнению с краем фундаментального поглощения чистого ZnSe, положение которого определяет свободный экситон FE_{ZnSe} ($\lambda \sim 443$ нм), что свидетельствует о высокой концентрации как мелких, так и глубоких уровней в запрещенной зоне этих кристаллов.

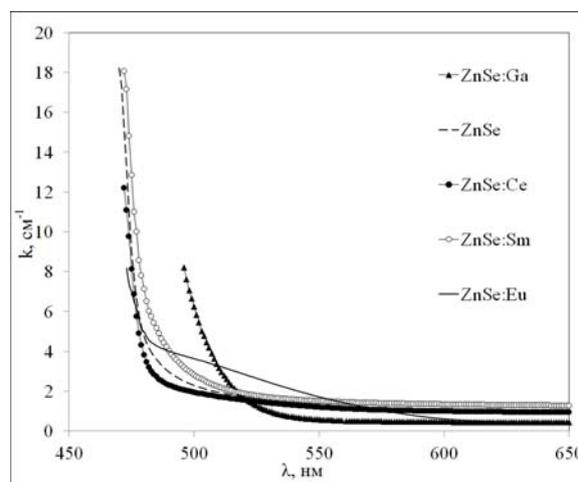


Рис.1. Спектры поглощения чистых и примесных кристаллов ZnSe при 300 К.

Изучение ИРЛ исследуемых кристаллов при 300 К выявило следующие особенности. Спектры ИРЛ всех исследуемых образцов представляют собой широкую «оранжевую» полосу с максимумом в области 600 нм и полушириной $\Delta E \sim 350$ мэВ (рис. 2). Спектры различных образцов отличаются лишь значением интенсивности ИРЛ (табл.1).

Ранее сообщалось, что появление спектральной полосы с максимумом 600 нм при 300 К вызвано переходом, связанным с (V_{Zn}, Al_{Zn}). Также предполагалось, что она обусловлена избыточным Zn [3]. Данные, приведенные в табл. 1, демонстрируют, что полоса в области 600 нм появляется независимо от типа введенной ИВП. Она присутствует даже в чистых кристаллах, но ее интенсивность на 1-2 порядка меньше, чем у ZnSe(ИВП).

Таблица 1. Относительная интенсивность ИРЛ ($\lambda_{max} = 600$ нм) чистых и примесных кристаллов селенида цинка.

Кристалл	I_{max}	τ_1	τ_2
----------	-----------	----------	----------

	(отн. ед)	(мкс)	(мкс)
ZnSe(Ba)	128	17	
ZnSe(Ce)	63	16	2
ZnSe(Ga)	57	11	2
ZnSe(Sm)	20	-	5
ZnSe	8,9	7	2
ZnSe(Eu)	0,64	26	3
ZnSe(Te)	45	18	5

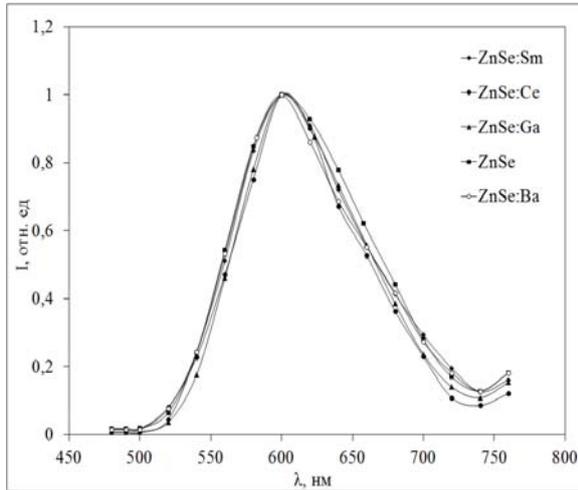


Рис. 2. Спектр ИРЛ кристалла ZnSe(Bi), измеренный при 300 К через 1 мкс после окончания возбуждающего импульса.

Величина уровня послесвечения сцинтиллятора определяет динамический диапазон чувствительности, как детектора, так и интроскопической системы в целом. Поэтому длительное послесвечение (сотни микросекунд и более) является нежелательной характеристикой сцинтиллятора. Кинетика затухания ИРЛ всех исследуемых образцов при $\lambda=600$ нм описывается суммой двух экспоненциальных функций с временами релаксации τ_1 и τ_2 приведенными в таблице 1. Все образцы отличаются различным вкладом компонентов с τ_1 и τ_2 (рис. 3).

Одной из основных задач получения высокоэффективных сцинтилляционных материалов является подавление всех полос излучения, кроме «рабочих» для конкретного сцинтиллятора. Устранения «нежелательных» полос можно добиться варьированием уровня возбуждения люминесценции. Экспериментально были определены оптимальные условия возбуждения образцов селенида цинка. Такие условия реализуются при возбуждении кристаллов импульсным рентгеновским излучением (уровень возбуждения $G = 10^{20} - 10^{22}$ пар/см³с. Наиболее интенсивное свечение (табл. 1)

наблюдается для кристаллов ZnSe(Ba), ZnSe(Ce), ZnSe(Ga), которые могут составить конкуренцию ZnSe(Te), применяемому в настоящее время в составе детекторов ионизирующих излучений. ZnSe(Eu) не рекомендуется использовать в качестве сцинтиллятора, в связи с низкой интенсивностью ИРЛ и длительным временем послесвечения.

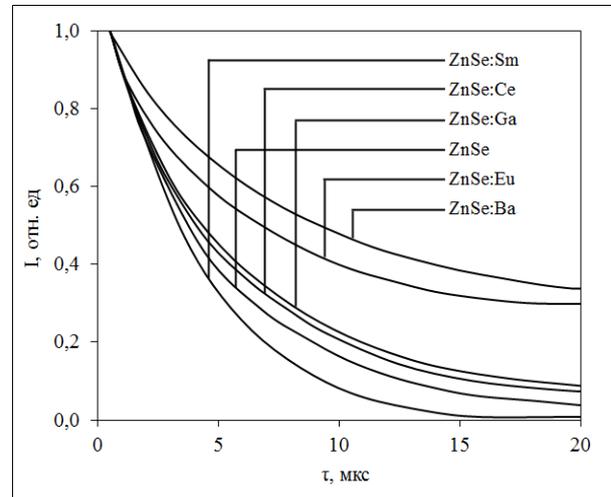


Рис.3. Кинетики затухания ИРЛ ($\lambda_{\text{max}} = 600\text{нм}$) чистых и примесных кристаллов ZnSe при 300 К.

Выводы

I. Исследование спектрально-кинетических характеристик ИРЛ кристаллов ZnSe и ZnSe(ИВП) показало, что форма «оранжевой» полосы и положение ее максимума одинаковы для всех исследуемых образцов, что свидетельствует о единой природе центров, ответственных за данное свечение.

II. Установлено, что легирование кристаллов ZnSe изовалентными примесями Ba, Ce, Ga улучшают их сцинтилляционные характеристики по сравнению ZnSe(Te), применяемому в настоящее время в составе детекторов ионизирующих излучений.

Список литературы:

1. Лисицын В.М., Корепанов В.И. Спектральные измерения с временным разрешением. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 94 с.
2. Старжинский Н.Г. и др. Сцинтилляторы на основе соединений $A^{II}B^{VI}$. Получение, свойства и особенности применения. – Харьков: «Институт монокристаллов», 2007. – 296 с.
3. Морозова Н.К., Д.А. Мидерос. Известия вузов. Электроника, №3. 2007. – 12 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ТОМСКЕ

Китаева М.В., Охорзина А.В.

Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Kitaevam@tpu.ru

Человечеству нужна энергия, потребность в которой увеличиваются с каждым годом. В связи с этим становится все более необходимым использование нетрадиционных энергоресурсов.

Наиболее актуально применение солнечных энергетических установок (СЭУ) в регионах без стационарной сети электропитания. Замена дизельных генераторов на СЭУ в таких регионах не только помогает облегчить энергетические и экологические проблемы, но и является экономически выгодной.

Применение систем слежения за Солнцем позволит уменьшить срок окупаемости системы и снизить стоимость производимой электроэнергии.

Эффективность применения систем слежения

На основе 12 летнего анализа работы ФМ в Сибири и Дальнего Востока проведены расчеты приходящей солнечной радиации и построена модель работы ФМ с применением одно- и двухосевых систем слежения.

Расчеты показали, что применение однокоординатного слежения позволит увеличить эффективность отбора мощности на 30%, а двухкоординатного на 40% для Западной Сибири [1]. Хотя введение второй оси слежения и увеличивает вырабатываемую мощность ФМ на 7-10%, это значительно усложняет механику конструкции и ощутимо увеличивает стоимость системы. Угол перемещения Солнца относительно горизонта в течение года изменяется незначительно, в отличие от эклиптики, меняющейся в течение дня, поэтому рентабельнее использовать одноосную систему и раз в 2-3 месяца вручную устанавливать угол наклона относительно горизонта [2].

Для оценки эффективности применения систем слежения построена модель работы энергосистемы с использованием системы слежения в Томске в течение года. Результаты приведены на рисунке 1.

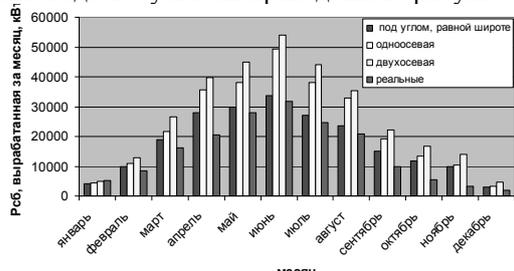


Рис. 1. Эффективность применения систем слежения в Томске.

Фотоэлектрический датчик

На сегодняшний день существует большое количество решений для датчика положения Солнца на небосводе. Отличают датчики, основанные на

фотодиодах, фоторезисторах, фотоэлектрических преобразователях, термочувствительных элементах.

Разработан фотоэлектрический датчик (ФЭД), позволяющий исключить влияние фонового излучения, решить проблему запуска системы утром, отличающийся низкой ценой и простотой реализации. Проведены математические расчеты конструкции датчика, которые были подтверждены его натурными испытаниями в г. Томске (Широта: 56°30'N, долгота: 84°58'E.). Результаты позволили оптимизировать датчик и увеличить его чувствительность.

В качестве фоточувствительных элементов выбран кремниевый фотоэлектрический преобразователь (ФЭП). В основе датчика два лицевых элемента для определения положения Солнца, третий тыловой элемент (С) – для исключения влияния рассеянного излучения и для запуска системы утром [3].

Особенности разработанного датчика:

1. Использование ФЭП в качестве активного элемента и добавление в конструкцию тылового ФЭП для измерения фонового излучения и запуска систем в утренние часы.

2. Для обеспечения единой температуры всех элементов датчика, располагаем их на теплопроводящей конструкции. Данная конструкция обеспечивает электрические соединения тыловых контактов элементов датчика.

3. Для повышения чувствительности датчика лицевые элементы располагаем так, чтобы обеспечить минимальный сигнал при наведении на Солнце.

4. В качестве регулирующего сигнала используется ток короткого замыкания $I_{кз}$ ФЭП, т.к. зависит от интенсивности солнечного излучения и не зависит от температуры.

Главными преимуществами данного метода являются простота использования и точность наведения, необходимая для ФМ.

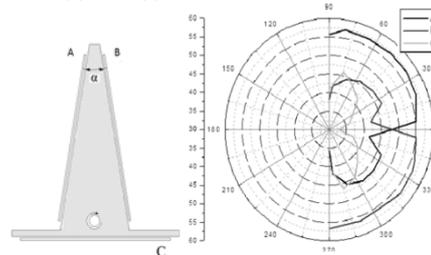


Рис. 2. Фотоэлектрический датчик и его диаграмма направленности

Система слежения на основе ФЭД

На основе ФЭД разработана система слежения за Солнцем. Данная система слежения (рис 3): состоит из

1. Первичный преобразователь светового потока в ток (ФЭД);
2. устройства обработки сигналов с датчика и выработки управляющих сигналов для двигателя (Блок контроллера);
3. двигатель, обеспечивающий поворот ФМ.

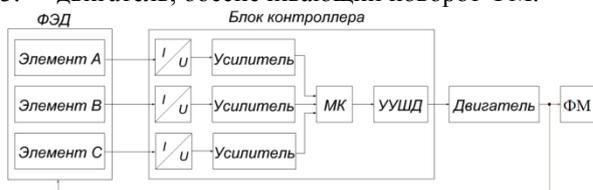


Рис. 3. Структурная схема системы слежения.

Схема состоит из ФЭД, преобразователя тока-напряжения (I/U), операционного усилителя (ОУ), микроконтроллера (МК) Atmega8L, устройства управления шаговым двигателем (УУЩД), и шагового двигателя (ШД).

На основе структурной схемы разработана принципиальная схема блока контроллера. Создан алгоритм работы программы МК, позволяющий ориентировать систему на Солнце.

Работоспособность системы слежения подтверждена практически: создан экспериментальный макет системы для ФМ мощностью 50 Вт, изображенный на рисунке 4. Были проведены натурные испытания одноосевой системы и двухосевой.

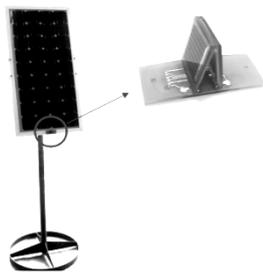


Рис. 4. Экспериментальный макет системы слежения.

Результаты работы сравнены результатами работы ФМ, установленного стационарно. Графики приведены на рисунке 5.

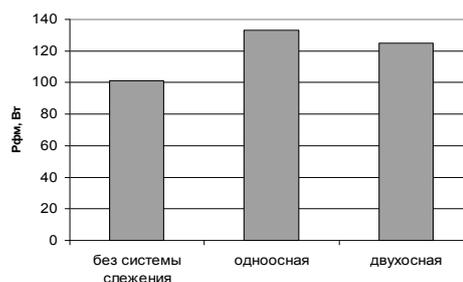


Рис. 5. Суммарная мощность за день, собранная без системы слежения, с одноосной и двухосной.

Применение одноосной системы увеличили сбор мощности на 23%, а двухосной на 32%, относительно установленной под углом стационарно.

Выводы по работе.

1. Проведен расчет эффективности применения систем слежения за Солнцем, который показал, что их применение увеличит вырабатываемую мощность и уменьшит срок окупаемости энергосистемы.
2. Разработан ФЭД, создан макет и проведена его оптимизация.
3. Разработаны структурная и принципиальная схемы блока контроллера для системы слежения, его печатная плата, разработан алгоритм программы для МК.
4. Создан экспериментальный образец разработанной системы, доказавший работоспособность разработанной системы;
5. Проведены натурные испытания, доказавшие рентабельность использования систем слежения: одноосной системы увеличили сбор мощности на 23%, а двухосной на 32%.

Список литературы

1. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications / Tom Markvart, Luis Castaner. – ELSEVIER, NY, 2003. – S. 8-66.
2. Yurchenko A.V., Kozlov A.V. The long-term prediction of silicon solar batteries functioning for any geographical conditions Proceedings of 22st European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Milan 3-7 September 2007, pp.3019-3022.
3. Юрченко А.В., Волгин А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В. Фотоэлектрический датчик для систем слежения за Солнцем//Издательство Томского политехнического университета, 2010 – с.36-37.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ОСАДКОМЕРА

Кобзев А.А.

Научный руководитель: Корольков В.А., к.т.н., с.н.с.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, г. Томск, Академический пр.,10/3

E-mail: kaa@imces.ru

В лаборатории экологического приборостроения ИМКЭС СО РАН идет разработка нового оптико-электронного двухканального измерителя осадков (ОДИО). Прибор предназначен для измерения параметров падающих частиц осадков. Результаты этих измерений используются для расчета интегральных характеристик осадков (их тип, интенсивность выпадения, и т. д.). Разработка применима для приборного обеспечения измерения осадков при решении широкого спектра научно-исследовательских и прикладных задач в различных отраслях человеческой деятельности.

Основные принципы конструкции ОДИО можно определить следующим образом. Два горизонтальных плоскопараллельных пучка света от источников излучения попадают на два сенсора, представляющих из себя линейные массивы светочувствительных элементов. Эти оптические каналы удалены друг от друга по вертикали на расстояние 5 мм. Их проекции образуют прямой угол в горизонтальной плоскости, формируя в области пересечения виртуальную измерительную площадку (рис. 1). Т.е. учитывается каждая частица, пересекающая оба канала. Размеры площадки, при реализации открытой конструкции, определяются шириной оптических каналов. При этом размеры и форма частиц определяются по количеству затененных элементов сенсоров, а скорость по времени, требуемому частице на прохождение вертикального расстояния между каналами.

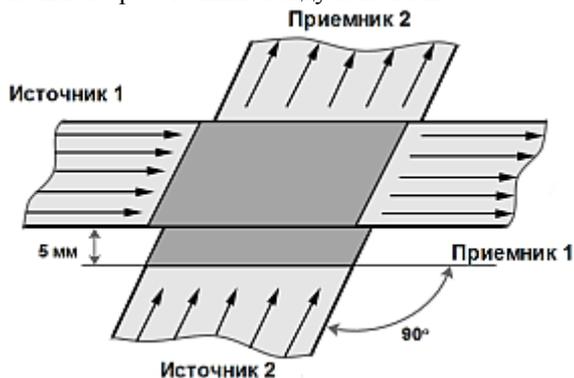


Рис. 1. Схема формирования виртуальной измерительной площадки ОДИО

Основной характеристикой любого измерителя осадков является размер площадки, через которую проходит каждая из учитываемых частиц. В случае традиционного осадкомера, это будет площадь приемного отверстия воронки или осадкомерного ведра. По площади приемного отверстия осадкомеры можно разделить на три группы [1]: осадкомеры с большой площадью приемного отверстия ($S_{вх} \geq 10^3 \text{ см}^2$), со средней площадью приемного

отверстия ($10^2 \text{ см}^2 < S_{вх} < 10^3 \text{ см}^2$) и с малой площадью ($S_{вх} < 10^2 \text{ см}^2$). Для наблюдений на метеорологической сети в основном применяются традиционные измерители осадков с входными отверстиями площадью 10^2 - 10^3 см^2 .

К осадкомерам с малой площадью входного отверстия относятся осадкомер Давитая (М-99) ($S_{вх}=30 \text{ см}^2$), стандартный канадский осадкомер ($S_{вх}=65 \text{ см}^2$), бельгийские осадкомеры IRM-1 и IRM-2, американский дождемер ($S_{вх}=20 \text{ см}^2$), прибор Понсоле ($S_{вх}=100 \text{ см}^2$), американские приборы с $S_{вх}$, равными 45, 6,7 и 3,25 см^2 и др [1].

Традиционные осадкомеры с большой и средней площадью приемных отверстий применяются для измерения как твердых, так и жидких осадков, тогда как приборы с малой площадью используются для измерения только жидких осадков. Это обусловлено тем фактом, что твердые осадки, как правило, менее интенсивны. Поэтому для уверенной регистрации их характеристик традиционными осадкомерами необходим сбор информации с достаточно большой площади.

В табл. 1 представлены размеры измерительной площади и диапазоны измерения параметров частиц некоторых современных оптических измерителей осадков. Для них приемлем гораздо меньший размер измерительной площади по сравнению с традиционными. Это возможно благодаря ряду преимуществ новых приборов: отсутствие потерь на смачивание, разбрызгивание и испарение, уменьшение ветрового недоучета и др. Так, например, измерительная площадь оптического дисдрометра, имеющего модификацию для измерения параметров снеговых осадков, составляет 48 см^2 [2]. А в оптическом измерителе осадков отечественной разработки она равна 15 см^2 [2].

Следует отметить, что, хотя выбранная схема разрабатываемого прибора [2] дает возможность корректно обрабатывать одновременное пересечение измерительной площадкой двумя и более частицами, такая ситуация существенно усложняет процесс измерения и обработки полученных данных, что повышает вероятность ошибок. Для обычных осадков со средними параметрами (концентрация порядка 10^3 частиц в 1 м^3) вероятность одновременного появления более одной частицы в области измерений пренебрежимо мала. Тем не менее, оценки, сделанные для проливного дождя высокой интенсивности (100 мм/час) и для моросящего дождя с максимальной концентрацией мелких капель, показали, что для измерительной площади 48 см^2 вероятность таких ситуаций может

доходить до 10% [2]. Подобные результаты были получены и для снеговых осадков.

Кроме того, следует принять во внимание, что относительно небольшие размеры измерительной площадки позволят производить измерения с более высоким пространственным разрешением, что положительно скажется на точности измерения малых капель.

В связи с вышеизложенным, выбор величины измерительной площадки порядка 25 см² (5 см × 5 см) представляется вполне обоснованным.

Расстояние 5 мм между оптическими каналами выбиралось в основном из двух соображений. Во-первых, это расстояние должно быть минимально, чтобы снизить вероятность регистрации частиц осадков из-за влияния ветра. С другой стороны, это расстояние должно быть достаточно большим,

чтобы рабочая частота сканирования сенсоров обеспечила приемлемую точность определения скорости частицы.

Схема разрабатываемого осадкомера позволяет изменять размер измерительной площадки прямо в процессе работы. В зависимости от концентрации и размера регистрируемых частиц специальный алгоритм подберет оптимальный размер измерительной площадки за счет уменьшения количества обрабатываемых чувствительных элементов каждого из сенсоров. Это позволит уменьшить вероятность возникновения ошибок, вызванных одновременной регистрацией нескольких частиц при высокой интенсивности осадков. Кроме того, адаптация размера измерительной площадки в соответствии с текущей интенсивностью осадков позволяет существенно сократить объем обрабатываемых и передаваемых данных.

Таблица 1. Сравнительные характеристики оптических измерителей осадков [2]

№	Наименование прибора / год разработки	Измерительная площадь, см ²	Возможность регистрации снега
1	Оптический спектропльвиометр OSP (Франция)/ 1977	100	нет
2	ИКДАН / 1987	5,7	нет
3	2D видеодисдрометр 2DVD (Германия)/ 1992	100	нет
4	Оптический дисдрометр (Германия) /1998	48	есть
5	Измеритель формы и скорости частиц осадков (Швейцария) / 2003	80	есть
6	Оптический измеритель осадков (МГАПИ) / 2004	15	есть
7	Лазерный дисдрометр Parsivel (Германия)/ после 2005	48	есть
8	Лазерный дисдрометр Thies Clima (Германия)/ после 2005	46	есть

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинов И.В. Осадки в атмосфере и на поверхности земли. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 208 с.
2. Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А. Оптико-электронный двухканальный измеритель осадков // Оптика атмосфер и океана. 2011. Т. 24. № 11. С. 990-996.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УЛИЧНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ ОАО НИИПП

Козлова О.П., Яковлев А.Н.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: kozlova_op@yahoo.com

В рамках проекта по строительству в Томске завода светодиодных светильников, «Томский Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (НИИПП) включен в состав холдинговой компании (интегрированной структуры) в области СВЧ-техники, полупроводниковых приборов и материалов под управлением ОАО "Российская электроника". Строительство завода должно начаться в 2012 году, запуск намечен на 2013 год. НИИПП запустил серийный выпуск светодиодов, хоть пока и небольшими партиями. В настоящее время находятся в разработке светильники для наружного освещения с различной мощностью. На базе ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», было проведено исследование освещенности, создаваемой экспериментальным образцом светильника, разработанным ОАО «НИИПП». Измерения проводились с целью определение его эксплуатационных характеристик на соответствие СНиП и гостам.

Измерялся горизонтальный уровень освещенности экспериментального образца уличного светодиодного светильника на светодиодах НИИПП, создаваемый на поверхности дорожного полотна. На момент измерений данный светильник обладал следующими характеристиками: мощность 96 Вт., световой поток 9930 ± 400 лм, световая отдача 102 ± 4 лм/Вт. Измерения проводились на открытой площадке территории НИИПП с целью натурных испытаний, в темное время суток, для того чтобы определению уровня горизонтальной освещенности от светильника не мешали посторонние засветки. Темновой фон составил 0,01 люкс.

Метод измерений был основан на пошаговой фиксации значений горизонтальной освещенности. Использовалась схема измерения горизонтальной освещенности улиц в соответствии с ГОСТ 24940-96. Расположение контрольных точек при измерениях показано на рисунке 1. Тридцать контрольных точек располагались по углам восемнадцати квадратов со сторонами 2м. Площадь участка, на котором проводились измерения горизонтальной освещенности составила 72 кв.м.

Горизонтальная освещенность (Е, лк) - это отношение светового потока, падающего на элемент горизонтальной поверхности к площади этого элемента.

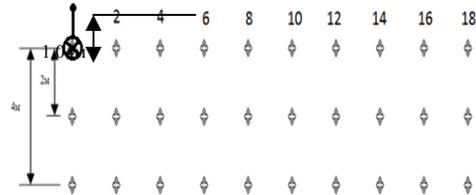


Рис 1. – Расположение контрольных точек при измерениях горизонтальной освещенности

♦ - контрольная точка

X - светильник

Для измерения горизонтальной освещенности использовался люксметр ТКА Люкс с измерительными преобразователями излучения. Диапазон измерений освещенности, данного люксметра 1,0-200 000 лк. Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения $\pm 6,0\%$. Спектральная погрешность, определяемая как интегральное отклонение относительной кривой спектральной чувствительности измерительного преобразователя излучения от кривой относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ по ГОСТ 8.332 [1], данного люксметра, не более 10 %. Измерения производились при номинальном напряжении питающей сети 230 (50 Гц). Величина напряжения при измерениях измерялась ваттметром GPM – 8212 (соответствует ГОСТ 8711, который устанавливает класс точности не ниже 0,5). Точность расстояния измерялась лазерным дальномером DISTO D3.

Светильник располагался на опоре. Консольное крепление и высота стойки позволяли регулировать высоту подвеса светильника на высоте от 8 до 12 метров. Угол наклона плоскости расположения светодиодов на светильнике относительно полотна дороги составлял 15° . Перед началом измерений после включения светильника было выдержано время термостабилизации, которое составило 140 мин. Спад светового излучения за 140 мин. после включения составил 9%.

При измерениях освещенности в контрольных точках согласно схеме (рисунок 1). люксметр располагался так, чтобы вблизи не было сильных магнитных полей, а на измерительный фотометрический датчик не падала тень от человека проводящего измерения (требования ГОСТ 24940-96).[2]

В начале и в конце измерений освещенности, контролировалось напряжение на щитках распределительных сетей освещения. Напряжение на

светильнике варьировалось в допустимых пределах от 230 до 235 В.

На основании полученных данных был проведен анализ результатов. Уровень горизонтальной освещенности в контрольной точке с координатами (0,0) составил 22,2 лк на высоте подвеса 8 м. и 13 лк на высоте подвеса 10 м. После 500 часов работы экспериментального светильника уровень освещенности практически не изменился и остался на прежнем уровне. При высоте подвеса 8 м. и 10 м. уровень освещенности равномерно снижается с 22,2 лк до 2 лк и с 13 до 2 лк соответственно. На расстояние 6 метров от контрольной точки (0;0) наблюдается скачок освещенности. Данный скачок можно объяснить распределением кривой силы света светильника, которая показана на рисунке 2.

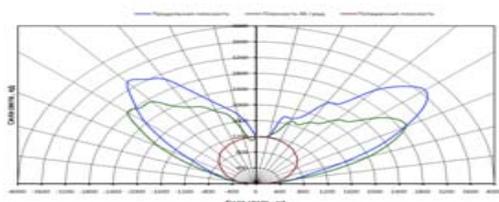


Рис 2. Пространственное распределение силы света экспериментального светильника в трех плоскостях.

При высоте подвеса 8 м (рисунок 3) и 10 м (рисунок 4) распределение уровня освещенности можно разделить на 8 и 4 зоны соответственно, в пределах 3 лк каждая. Из рисунка 4 видно, что при 10 м уровень освещенности изменяется более равномерно.

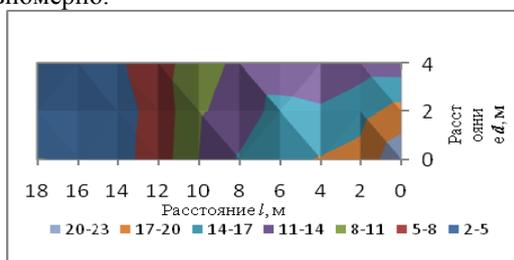


Рис 3. - Диаграмма распределения горизонтальной освещенности на измеряемом участке в виде областей освещенности в пределах 3лк на высоте подвеса 8 м.

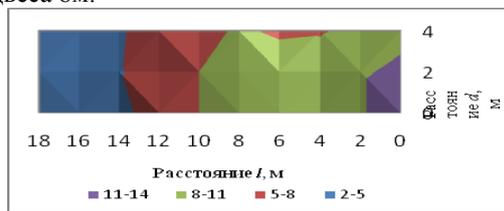


Рис 4. - Диаграмма распределения горизонтальной освещенности на измеряемом участке в виде областей освещенности в пределах 3лк на высоте подвеса 10 м.

По нормам СНиП23-05-2010 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95) средняя горизон-

тальная освещенность покрытия проезжей части автомагистрали –20 лк, скоростная дорога – 15лк, дорога обычного типа в зависимости от категории от 8 до10лк. [3] По результатам исследований, можно сказать, что данный экспериментальный светильник обеспечивает требуемую СНиП23-05-2010 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95) освещенность – 20 лк.

Так же был проведен сравнительный анализ. Для сравнения был взят уличный светодиодный светильник производства КНР с близкой по значению мощностью 125 Вт. Уровень горизонтальной освещенности данного светильника выше, чем у экспериментального светильника мощностью 96 Вт. Это можно увидеть на рисунке 5. В контрольной точке с координатами (0,0) составил 45,3 лк на высоте подвеса 8 м. и 27,9 лк на высоте подвеса 10 м.

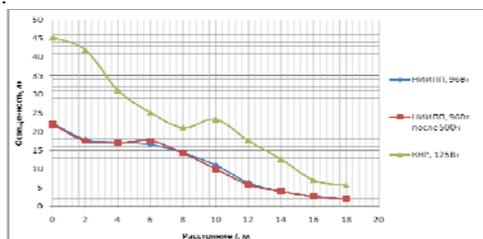


Рис 5. Зависимость освещенности от расстояния, d=0м высота подвеса 8 м.

При сравнении светотехнических параметров оказалось что, несмотря на то, что данный светильник обладает большей мощностью 125 Вт. светотехнические параметры значительно ниже: световой поток 7700 ± 400 лм, световая отдача 66 ± 3 лм/Вт. Световая отдача является основной характеристикой источников, так же определяет их экономичность, показывая какое количество затраченной энергии переходит в тепло или какие-либо другие виды энергии, и её высокий уровень свидетельствует о том, что разработка движется в правильно направлении.

В целом, данный светильник имеет характеристики, сопоставимые с характеристиками светодиодных светильников других производителей, но по результатам измерения кривой силы света, данный образец, не является оптимальным для требуемого уличного светильника, поскольку угол максимальной силы света составляет 45° , что мало для получения равномерной освещенности дороги с расстоянием между опорами 35 м. Так же, из графиков видно, что светильник требует доработки, для обеспечения более равномерного распределения освещенности.

Литература:

- 1.ГОСТ 8.332
- 2.ГОСТ 24940-96
- 3.СНиП 23-05-95

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИСТОЧНИК НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА

Красников И.В.¹, Тригуб М.В.^{1,2}, Торгаев С.Н.^{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, Томск, пл. Академика Зуева В.Е., 1

E-mail: vania.krasnikoff@yandex.ru

Традиционно источники накачки для лазеров на парах металлов и, в частности, для лазеров на парах бромида меди, строились с использованием электровакуумных коммутаторов, которые обладают рядом недостатков: малый срок службы ключевого элемента, КПД на уровне 50–60 %, низкий частотный потенциал [1]. В настоящее время с появлением на рынке мощных полупроводниковых приборов (IGBT и MOSFET) стало возможно создание твердотельных источников накачки, которые будут лишены недостатков традиционных схем.

В работе [2] описан полупроводниковый источник накачки лазера, включающий в себя 10 типовых ячеек. Ниже приводятся осциллограммы работы данного источника на газоразрядной трубке (ГРТ) длиной 400 мм и диаметром 25 мм.

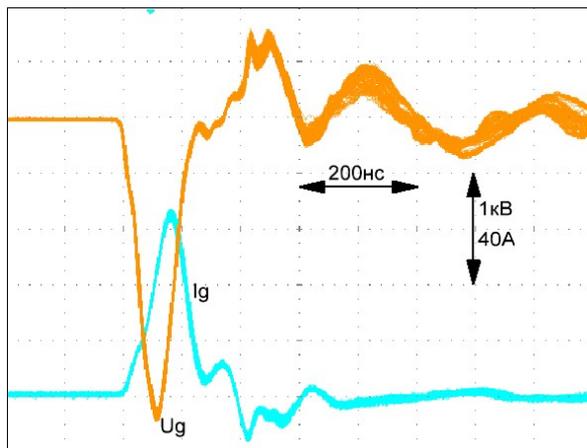


Рис1. Осциллограмма работы схемы

В данной работе приводятся результаты исследования полупроводникового источника накачки, включающего в себя четыре типовых ячейки, принцип действия которого аналогичен принципу, представленному в [2]. Однако, в топологию схемы были внесены некоторые изменения.

Во-первых, в схеме типовой ячейки, представленной в [2], заряд конденсатора происходит через пересчитанное сопротивление нагрузки и через RVD цепь, что вносит дополнительные потери. Поэтому, предложена следующая топология схемы типовой ячейки (рис.2). При таком расположении компонентов заряд конденсатора протекает по цепи, не включающей активного сопротивления, что снижает потери.

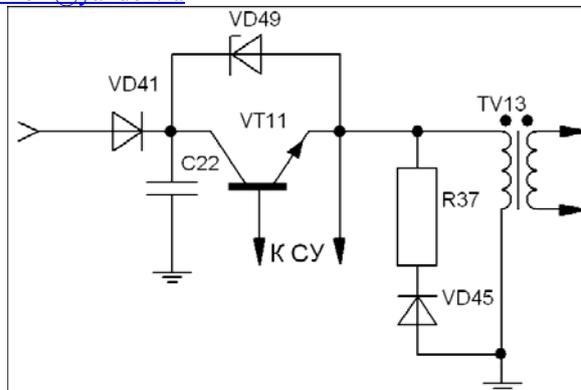


Рис2..: Схема типовой ячейки.

Во-вторых, параллельно силовому транзистору были поставлены ограничители напряжения (супрессоры), которые защищают силовой транзистор от перегрузок по напряжению.

В-третьих, в цепь управления были внесены цепи задержек, для ликвидации разности отпирания силовых ключей.

Для формирования высокого напряжения используются однотипные ячейки, которые включены параллельно, каждая из которых, включает в себя разделительный диод, накопительный конденсатор, полупроводниковый коммутатор (IGBT или MOSFET), а так же импульсный трансформатор. Вторичные обмотки трансформаторов соединены последовательно, что обеспечивает увеличение напряжения на нагрузке [3].

На рисунке 3 представлена амплитудная характеристика источника при работе на активную нагрузку различного номинала.

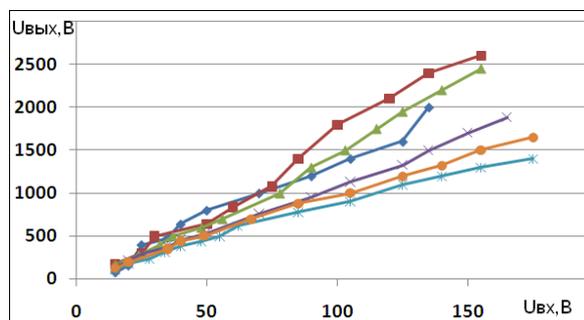


Рис3.. Амплитудная характеристика. ■—820 Ом, ▲—220 Ом, ◆—расчет, ×—100 Ом, *—68 Ом, ●—40 Ом.

С увеличением нагрузки (уменьшением сопротивления) происходит снижение амплитуды выходного сигнала. Кроме того, при сопротивлении нагрузки, большей определенного

значения, наблюдается увеличение выходного напряжения относительно расчетного. Это объясняется тем, что схема замещения представляет параллельный колебательный контур, и при этом его добротность определяется сопротивлением нагрузки. С другой стороны, снижение напряжения при увеличении нагрузки связано с нагрузочной способностью импульсного трансформатора и ростом потерь с ростом тока. При увеличении тока нагрузки происходит рост коммутационных потерь в ключевом элементе и как следствие снижение выходного напряжения. В качестве силовых ключей использовались IGBT транзисторы IRG6S60B120KD. Накопительные конденсаторы – K15-5-0,01мкФ на 1,6кВ. Количество ячеек – 4. Коэффициент трансформации $n=1$. Частота следования импульсов составляла 24 кГц с возможностью повышения до 100кГц. Импульсные трансформаторы реализованы на ферритовых кольцах марки 2000НМ с размерами $K 45 \times 28 \times 12$, обмотки были выполнены из коаксиального кабеля, что существенно уменьшает паразитные параметры импульсного трансформатора и обеспечивает минимальное изменения фронта сигнала. Индуктивность дросселя $L1$ составляет 200 мкГн.

Для исследования работы импульсных трансформаторов была получена зависимость энергии в импульсе от напряжения на выходе при разных сопротивлениях нагрузки. Результаты проделанной работы представлены на рисунке 4.

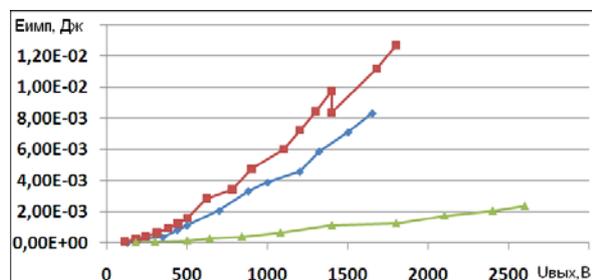


Рис. 4. Кривые зависимости энергии в импульсе от выходного напряжения при разных сопротивлениях нагрузки.

Эффект насыщения импульсного трансформатора должен приводить к тому, что с ростом энергии, накопленной в конденсаторе, энергия на выходе импульсного трансформатора не увеличивалась, а оставалась на определенном уровне (уровне насыщения). Однако, как видно из рисунка 4, уровень энергий, передаваемых через импульсные трансформаторы ниже уровня насыщения. Следовательно, просадка напряжения наблюдается из-за нагрузочной способности трансформаторов.

Следующим этапом стало проведение исследований возможностей источника для накачки CuBr-лазера. В качестве нагрузки использовалась ГРТ с

внешним нагревом, диаметр активной зоны – 25 мм, длиной – 400 мм.

Напряжение на каждом накопительном конденсаторе составляло 800 В. Средняя мощность генерации составила 0,15 Вт. Амплитуда напряжения на ГРТ составила 2,5 кВ. Амплитуда тока – 45 А.

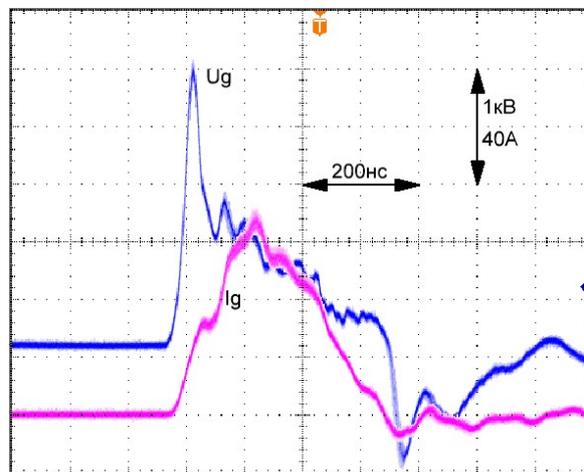


Рис. 5. Работа источника на ГРТ диаметром 25 мм и длиной 380 мм.

В результате проделанной работы получен ряд интересных фактов:

1. использование предложенной схемы обеспечивает большее значение вводимой мощности в разряд;
2. импульсные трансформаторы, выполненные коаксиальным проводом, позволяют получать оптимальные импульсы напряжения на нагрузке (малый фронт)
3. применение предложенной схмотехники целесообразно для источников накачки CuBr-лазеров малого и среднего объема

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

Литература:

1. Евтушенко Г.С., Паршина Н.В., Татур В.В., Суханов В.Б. и др. CuBr-лазер с транзисторным коммутатором // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13. – № 3. – С. 265 – 266.
2. Суханов В.Б., Татур В.В. Эксплуатационные характеристики CuBr-лазера с транзисторным коммутатором. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 108 – 110
3. Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Фёдоров В.Ф. Полупроводниковые источники накачки CuBr-лазеров // Известия Томского политехнического университета, 2010. - т.317 - № 4. - с. 164–168

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ

Бордулёв Ю.С., Лаптев Р.С., Лидер А.М.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Лидер А.М.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bordulev@mail.ru

В наши дни к материалам предъявляются повышенные требования по надежности и долговечности. Будь то материалы корпусов реакторов, пластины солнечных батарей космических аппаратов или лопатки двигателей самолетов, все они работают в экстремальных условиях, агрессивных средах, при повышенной температуре. Поэтому необходимо проводить лабораторные испытания по исследованию изменения структуры и свойств под воздействием факторов, аналогичных реальным эксплуатационным условиям. Методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) являются чувствительными лабораторными методами глубокого исследования структуры материала и изучения процессов в нем протекающих.

Методы ЭПА основаны на эффекте взаимодействия позитронов с исследуемым материалом – электрон-позитронной аннигиляции. Аннигиляционные фотоны, возникшие в результате аннигиляции позитрона с электроном, несут информацию об электронном окружении позитрона, то есть либо об электронном строении внешних электронных оболочек атомов твердого тела, определяющих его основные свойства, либо о типе дефектов и концентрации их в кристалле.

В зависимости от целей и характера исследований используют 3 основных метода ЭПА [1]:

1. спектроскопия углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ);
2. измерение доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ);
3. спектроскопия времени жизни позитронов (СВЖП);

Разрабатываемый цифровой спектрометрический комплекс объединяет в себе методы СВЖП и ДУАЛ. Данные методы могут реализовываться как в одном эксперименте, на одном образце, так и по отдельности. Применение этих экспериментальных методик одновременно позволяет получить временное и импульсное распределения аннигиляционных γ -квантов, т.е. наиболее полные качественные и количественные данные об электронной структуре исследуемого вещества.

В качестве источника позитронов используется радиоактивный изотоп $^{44}\text{Ti}(\beta^+, \gamma)$. Радиоизотопный источник на основе ^{44}Ti хорошо подходит как для исследований методом ДУАЛ, так и для СВЖП, поскольку практически одновременно с позитроном испускается реперный γ -квант с энергией 1,157 МэВ. Источник позитронов располагается между двумя образцами материала, образуя, так называемую, «сэндвич-геометрию». Основное преимущество этой геометрии в том, что позитроны

эмитируемые источником непосредственно проникают в образец, что позволяет проводить измерения на воздухе.

Технология СВЖП заключается в измерении промежутка времени между реперным и аннигиляционным γ -квантами. Набранный временной спектр состоит из вкладов различных временных компонент и соответствующих им интенсивностей. Эти компоненты несут информацию об объемных дефектах в твердом теле и их концентрациях [2, 3, 4].

В спектрометрии ДУАЛ проводятся точные измерения энергетического сдвига аннигиляционных γ -квантов от значения 0,511 МэВ. Этот сдвиг образуется вследствие ненулевого момента аннигилирующей электрон-позитронной пары и используется для исследования импульсного и энергетического распределения в электронной структуре исследуемого материала [5].

Метод ДУАЛ позволяет получить дополнительную информацию при интерпретации результатов временного распределения аннигиляционных квантов. Так как, возможно определить вклады валентных и остовных электронов в процесс аннигиляции.

В рамках метода ДУАЛ также реализуется схема совпадений, позволяющая существенно уменьшить фон, примерно на три порядка [6], а так же позволяет наблюдать высоко-импульсную часть спектра от аннигиляции позитронов с электронами глубоких оболочек. Анализ высоко-импульсной части спектра позволяет определять химический состав элементов в месте аннигиляции позитронов [7].

Поэтому спектрометрия совпадающего доплеровского уширения аннигиляционной линии широко используется для идентификации дефектов в различных сплавах, а также для характеристики небольшого количества включений [8, 9].

Разрабатываемый спектрометрический комплекс отличается от традиционных наличием современных цифровых компонент, обеспечивающих простоту настройки и эксплуатации оборудования, а также повышающих производительность и точность проводимых экспериментов.

Схема комплекса представлена на рисунке 1.

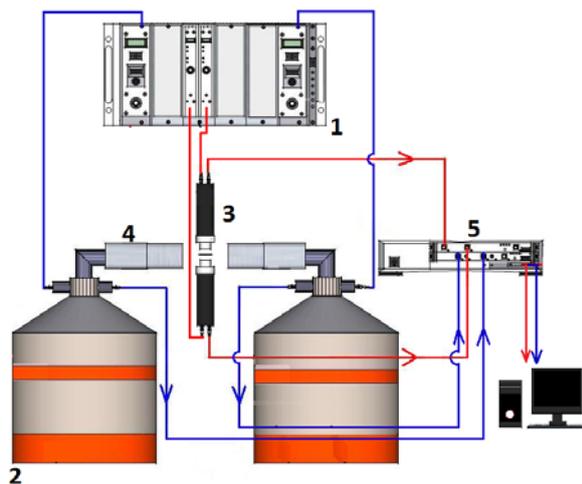


Рис. 1. Разрабатываемый спектрометрический комплекс: 1 – блок питания детекторов; 2 – криостат; 3 – ФЭУ; 4 – полупроводниковый детектор; 5 – дигитайзер.

Данный комплекс состоит из двух функциональных модулей, реализующих два различных метода ЭПА

В рамках модуля СВЖП, для регистрации γ -квантов используются детекторы на основе сцинтилляторов и фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) [10]. В качестве сцинтиллятора используется кристалл фторида бария BaF₂ цилиндрической формы, диаметром $\varnothing 30$ мм и толщиной 25 мм. На сегодняшний день фторид бария – основной сцинтилляционный материал, используемый в спектрометрии по времени жизни позитронов благодаря оптимальному балансу таких характеристик как временное и энергетическое разрешение [11].

Блок детектирования модуля ДУАЛ представляет собой конструкцию, объединяющую в себе полупроводниковый детектор, низкофоновый вертикальный криостат и зарядочувствительный преусилитель. Эффективность такого блока регистрации составляет 30 %, а разрешение по пикам 122 и 1332 кэВ, 0.8 и 1.8 кэВ, соответственно.

Питание детекторов осуществляется двумя высоковольтными источниками питания, представ-

ляющие собой модули NIM двойной и одиночной ширины, специально разработанные для работы с различными детекторами ядерных излучений.

Сигнал с детекторов направляется непосредственно на высокоскоростную многоканальную систему преобразования данных, основой которой является высокоскоростной дигитайзер. Гибкость входного каскада вместе с высокой производительностью преобразования данных позволяют использовать этот дигитайзер в быстрых временных системах с высоким разрешением, а также испытаниях полупроводников и крупномасштабных экспериментах.

Программное обеспечение для управления комплексом и обработки данных разработаны в Charles University in Prague, а также в Научно-исследовательском центре Martin-Luther-University Halle-Wittenberg Дрезден/Розендорф в рамках проекта EPOS и распространяется свободно [13].

Основные выводы

Разрабатываемый в данной работе цифровой спектрометрический комплекс для исследования материалов методами ЭПА позволяет получать качественную и количественную информацию о структуре материала. Комплекс разрабатывается на основе работ [9, 14, 15].

Построение спектрометра на современных цифровых компонентах дает возможность развития комплекса с целью улучшения его характеристик, что отличает его от ранее созданных аналоговых систем.

В комплексе реализуются два мощных метода ЭПА, позволяющие комплексно подходить к исследованию материалов и дающие как информацию о концентрации и типе дефектов, так и о химическом составе материала.

Разрабатываемый комплекс способен найти широкое применение во многих лабораториях и исследовательских центрах, занимающихся исследованием структуры материалов и нуждающихся в прецизионных исследованиях.

Список Литературы

1. D. Bosnar, I. Friščić, G. Jerbić-Zorc, M. Makek, S. Bosnar Applications of Positron Annihilation Spectroscopy, Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, RudjerBošković Institute, Zagreb, Croatia;
2. A. Dupasquier, A. P. Mills, Jr. (Ed.), Positron Spectroscopy of Solids, IOS Press, Amsterdam, 1995;
3. K. Saarinen, P. Hautojaarvi, C. Corbel, in: M. Stavola (Ed.), Identification of Defects in Semiconductors, Academic Press, New York, 1998;
4. R. Krause-Rehberg, H. S. Leipner, Positron Annihilation in Semiconductors, Springer, Heidelberg, 1999;
5. В. И. Графутин, Е. П. Прокопьев, Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества, Успехи физических наук, 2002, Т.172(1), с. 67-84;
6. J. R. MacDonald, K. G. Lynn, R. A. Boie and M. F. Robbins, Nucl. Instr. Meth., 153, 189(1977);
7. P. Asoka-Kumar, M. Alatalo, V. J. Ghosh, A. C. Kruseman, B. Nielsen and K. G. Lynn, Phys Rev. Lett., 77, 2097, (1996);
8. Y. Nagai, M. Hasegawa, Z. Tang, A. Hempel, K. Yubuta, T. Shimamura, Y. Kawazoe, A. Kawai, F. Kano, Phys. Rev. B 61 (2000) 6574.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Макарова Н.В.

Научный руководитель: Янгулов В.С., к.т.н, зав. учебно-научным центром ИНК ТПУ
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: natali_9s89@mail.ru

Применяемость механических передач обусловлена функционированием их во многих современных механических и электромеханических устройствах

В настоящее время все более широкое применение находят передачи с промежуточными телами качения (ПТК), как наиболее перспективные с точки зрения обеспечения необходимых технических характеристик. Механизмы с этими передачами используются при производстве транспортных средств, водоподготовке, в робототехнике, космической, горно-шахтной, нефтегазовой, теплоэнергетической, пищевой промышленности. Эти передачи обеспечивают высокую нагрузочную способность, увеличение крутящего момента и передаточного числа при уменьшении габаритов, продолжительный срок службы, плавность и бесшумность работы. Однако известные передачи не лишены недостатков: нагрев передачи под нагрузкой до температуры 80 - 120°C, вызванный наличием в зацеплении трения скольжения, приводит к износу несущих деталей и снижению КПД. Так коэффициент полезного действия одной ступени передачи с промежуточными телами качения составляет 0,75 - 0,86, что увеличивает энергопотребление всего механизма в целом.

В настоящее время многие предприятия, занимающиеся космической техникой, такие как: ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева, г. Железногорск Красноярский край, ОАО «НПЦ «Полус», г. Томск, и др., ведут поисковые работы по улучшению качеств выходных параметров механических передач. Одним из перспективных направлений является использование механических передач с промежуточными телами качения.

Основными передачами с ПТК, которые могут быть востребованы в точных редукторах приводов оптических систем, являются волновые передачи, червячные, передачи линейного перемещения, а также комбинации этих передач.

Волновые передачи имеют широкое применение: от приборных устройств мощностью десятки ватт и меньше до силовых приводов с большим передаточным отношением и мощностью до сотен кВт. Представляется, что к этой категории, в том числе, относятся бортовые приводы летательных аппаратов, так как сочетание волновых передач с быстроходными электрическими двигателями обеспечивает получение компактных и легких агрегатов. Схема радиальной цилиндрической передачи представлена на (рисунок 1).

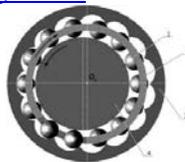


Рисунок 1 – Схема радиальной цилиндрической волновой передачи с промежуточными телами:

1 – промежуточные тела качения (шарики или ролики); 2 – сепаратор; 3 – венец; 4 – генератор волн.

В зависимости от направления перемещений ПТК их можно разделить на радиальные и осевые. В свою очередь они делятся на цилиндрические и торцевые.

Разновидностью ВППТК является торцевая волновая передача (рисунок 2), в которой рабочие поверхности генератора и жесткого колеса выполнены на торцах дисков, обращенных друг к другу.

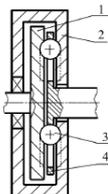
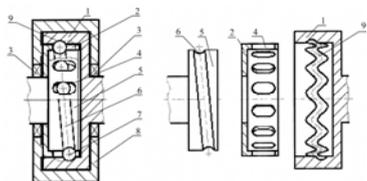


Рисунок 2 Волновая торцевая передача с промежуточными телами качения

Передача состоит из соосных дисков – 1 и 2, на обращенных друг к другу торцах дисков выполнены профили зубчатого венца и генератора. Между дисками установлен диск – 4 с радиальными прорезями, в которых находятся шарики – 3. Диск – 4 выполняет функцию обоймы.

Простые осевые цилиндрические передачи состоят из трех звеньев, взаимодействующих друг с другом через промежуточные тела качения (рисунок 3). Звенья передачи представляют собой соосные цилиндры – 1 и 5. На обращенных друг к другу поверхностях наружного и внутреннего цилиндров выполнены замкнутые периодические дорожки качения – 6 и 9. Промежуточный цилиндр – 2 является сепаратором и имеет продольные прорези – 4, в которых находятся тела качения – 7. Любой из цилиндров может быть входным, выходным или неподвижным звеном. Например, входным звеном, волновым генератором, является внутренний цилиндр – 5, выходным звеном – наружный цилиндр – 1, а неподвижным звеном – сепаратор – 2, соединенный с корпусом – 8. Конструкция передачи должна исключать взаимное

смещение цилиндров – 1, 2 и 5 вдоль оси, поэтому в качестве опор – 9 выбираются радиально-упорные подшипники. При однопериодном волновом генераторе периодическая дорожка качения представляет собой косую канавку, многопериодный генератор имеет зигзагообразно изогнутую канавку с числом периодов, отличающихся от числа периодов второго звена.



а б
Рисунок 3 – Осевая передача с телами качения:
а) – в сборе, б) – разобранная.

Червячная передача с ПТК, представлена на (рисунок 4). Передача содержит червяк – 1 с винтовой нарезкой, в витках которой размещены рабочие шарики – 2 и сепараторные шарики – 3. Рабочие шарики – 2 контактируют с зубьями червячного колеса – 4, а сепараторные шарики – 3 меньшего размера, чем рабочие шарики, выполняют функцию сепаратора. Шарики удерживаются в витках червяка неподвижным корпусом – 5, в котором выполнен канал – 6 для перехода шариков из одного конца зацепления в другой. В корпусе имеется прорезь для обеспечения контакта зубьев колеса с рабочими шариками червяка.

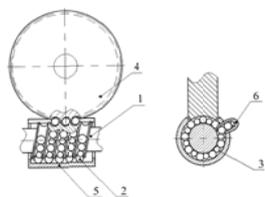


Рисунок 4 – Червячная передача с ПТК

Шарико-винтовые механизмы (ШВМ) (рисунок 5) – наиболее распространённый тип передач, в которых ПТК – 4 выполняют функцию катков, расположенных между витками винта – 1 и гайки – 2, что существенно снижают потери мощности на трение. Циркуляция шариков, как правило, происходит через внешний возвратный канал – 3. Так же между шариками могут быть расположены сепараторы, которые исключают трение между ними, в значительной степени повышают рабочие характеристики.

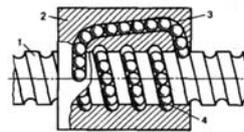


Рисунок 5 – Шарико-винтовые механизмы

Предварительный натяг в зацеплении достигается путем осевого смещения витков гайки относительно витков вала или за счет того, что размер шариков несколько больше, чем размер канавок это обеспечивает появление четырех точек контакта.

На (рисунок 6) показана конструктивная схема волновой винтовой передачи, которая содержит винт – 1, гибкую гайку, состоящую из цилиндрической обоймы – 2 с радиальными отверстиями, оси которых выполнены по винтовой линии с шагом равным шагу винтовой канавки винта, шарики – 3, размещённые в отверстиях обоймы. Генератор – 4 установлен в корпусе – 5 на подшипниках – 6 и является входным звеном передачи, он вращается от привода (не показан). Генератор – 4 выполнен как втулка, внутренняя цилиндрическая поверхность которой эксцентрична оси винта и создает одну зону зацепления гибкой гайки и винта – 1. При фиксации корпуса от вращения (при неподвижном винте) он при работе передачи будет перемещаться поступательно, при фиксации корпуса от поступательного перемещения он будет вращаться.

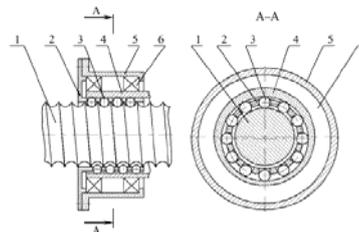


Рисунок 6 – Волновая винтовая передача

Краткий обзор по данной теме показал, что передачи, с промежуточными телами качения, являются перспективными видами передач, имеющими ряд достоинств, и обеспечивающих высокие значения по ресурсу, мёртвому ходу, жесткости и другим параметрам.

Список литературы:

1. Волновые и винтовые механизмы и передачи: учебное пособие / В.С.Янгулов; ТПУ.Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 174 с.
2. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами / А.Е.Беляев; ТПУ.Томск: Изд-во ТПУ, 1992. 231 с.
3. <http://technomag.edu.ru/doc/147434.html>
<http://www.inovatcii.ru/285.html>

ВЫБОР НОВОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ МОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ ПИЩЕВОДА

Мельник С.С., Миляев Д.В.

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

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30

E-mail: melnikss@tpu.ru

Заболевания пищеварительной системы сегодня являются одними из самых распространенных заболеваний во всем мире. Причины этому - неправильное питание, нервные напряжения, нездоровый образ жизни, экология и многие другие факторы. Особое место занимают заболевания, сопровождающиеся нарушением моторной деятельности пищевода (МДП).

В настоящее время для контроля МДП наиболее распространены метод водных катетеров и интрапищеводная реография. Сущность метода водных катетеров заключается в измерении давления воды в капиллярах с отверстиями, закрываемыми при мышечном сокращении [1]. Такая измерительная система имеет ряд недостатков – большая погрешность самого метода, его зависимость от условий проведения исследования, необходимость наличия квалифицированного обслуживающего персонала, массогабаритные параметры оборудования. Интрапищеводная реография фиксирует изменения комплексного электрического сопротивления слизистой оболочки пищевода между электродами [2].

Целью данной работы является анализ измерительных преобразователей (ИП), обеспечивающих ряд преимуществ по сравнению с имеющимися на сегодняшний день преобразователями, а именно: низкая стоимость; измерение силы, скорости и обнаружения нарушения МДП, высокая точность измерения и выбор одного из них для разработки нового устройства диагностики. Измерение МДП имеет ряд особенностей:

а) объект измерения можно представить упругой трубкой с волнообразным изменением диаметра;

б) непосредственно измеряется сила воздействия на катетер, давление, либо фиксируется перемещение сократительной волны пищевода;

в) частота сокращения составляет несколько десятых герца, давление 13200 ± 6500 Па [1] – слабое квазипостоянное воздействие;

г) малые габариты измерительного преобразователя.

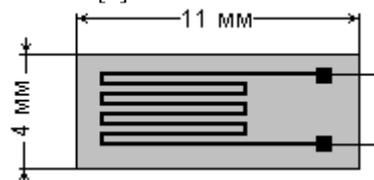
Тензорезистивный ИП

Известно, что значение сопротивления определяется выражением

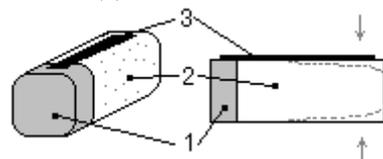
$$R = \rho \frac{l}{s}$$

где ρ – это удельное сопротивление материала (справочная величина), l – длина проводника или проводника, s – площадь его поперечного сечения. Таким образом, при деформации изменение длины и площади поперечного сечения (основной фактор

для проводников) или удельного сопротивления (основной фактор для полупроводников) вызывает изменение сопротивления резистора. В этом и заключается принцип данных ИП. Рассмотрим тензорезистор (ТР) для измерения микродеформаций КСПН-4-2К-Е4, промышленно выпускаемый компанией «KYOWA» [3]:



Для измерения МДП предлагается следующая конструкция - на опору (1) и упругое основание (2) наклеивается ТР (3):



При сокращении пищевода основание сжимается, а ТР деформируется. При удлинении ТР на 0,01 мм (номинальное сопротивление КСПН-4-2К-Е4 $R=2$ кОм, коэффициент тензочувствительности $S \approx 170$) сопротивление изменится на:

$$\Delta R = S \frac{\Delta l}{l} R = 170 \cdot \frac{0,01}{7} \cdot 2000 = 486 (\text{Ом})$$

Достоинства метода: простота конструкции, линейность зависимости, высокая чувствительность. Недостатки: зависимость удельного сопротивления от температуры, разброс параметров для моделей одной серии.

Жидкостный резистивный ИП

Принцип действия ИП аналогичен рассмотренному выше – зависимость сопротивления от геометрических параметров резистора. Предлагается в ИП использовать упругий сосуд, заполненный электролитом. Под воздействием силы площадь поперечного сечения уменьшается, а длина увеличивается. При этом можно добиться изменения геометрических параметров в разы.

Если упругий сосуд в форме цилиндра высотой 6 мм и площадью поперечного сечения 5 мм^2 сожмется до 3 мм^2 и соответственно удлинится до 10 мм, сопротивление ИП изменится на

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{l_1} \frac{s_1}{s_2} = \frac{10 \cdot 5}{3 \cdot 6} = 2,78 = 278\%$$

(то есть, увеличится почти в 3 раза).

Достоинства и недостатки как у ТР. Чем сильнее ИП деформируется, тем больше вероятность, что сосуд лопнет.

Емкостный ИП

Емкость конденсатора C зависит от расстояния между обкладками d .

Конструкция ИП для МДП будет иметь вид двух металлических пластинок, наклеенных на упругое тело. При изменении зазора между обкладками с 5 мм до 4 мм емкость изменится на

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{5}{4} = 1,25 = 125\%$$

(то есть, увеличится на четверть).

Достоинства: высокая чувствительность, простота конструкции датчика, линейность, слабая зависимость от температуры. Недостатки: зависимость от внешних электрических полей, относительная сложность измерительной цепи.

Вихрегоковый ИП

Катушка возбуждения создает переменное магнитное поле, под действием которого в пищеводе возникают вихревые токи, которые в свою очередь так же создают магнитное поле, фиксируемое измерительной катушкой.

Метод описывается относительно сложными уравнениями. Напряжение измерительной катушки зависит от конструкции системы, расстояния до стенок пищевода, частоты подаваемого тока, магнитной проницаемости и электрической проводимости биоткани пищевода.

Достоинства: возможность минимизации ИП, возможность бесконтактных измерений электропроводности и магнитной проницаемости пищевода. Недостатки: множество мешающих факторов, ввиду высокого сопротивления биоткани необходимо подавать высокочастотный ток, невозможность измерения силы сжатия пищевода.

Пьезоэлектрический ИП

Под действием механической деформации на поверхности пьезоэлектрика появляются электрические заряды (прямой пьезоэффект). Значение поляризованного заряда q связано со значением действующей силы F прямо-пропорциональной зависимостью [4]:

$$q = d \cdot F$$

где d – пьезоэлектрический модуль, зависящий от материала и направления действия силы и сторон, с которых снимается заряд.

Достоинства: простая измерительная цепь, независимость от внешних условий. Недостатки: быстрая рекомбинация зарядов через измерительную цепь, низкий выходной сигнал при квазистатических нагрузках.

Пьезорезонансный ИП

Частота собственного резонанса f_r кварцевого резонатора зависит от резонансного размера h и скорости распространения волн v в кристалле.

$$f_p = \frac{v}{2l}$$

Скорость v в свою очередь зависит от плотности, упругих свойств, напряжений, создаваемых в теле пьезоэлемента. Чувствительность данного ИП достаточно высока, на данном методе промышленно выпускаются микровесы, измерители микродеформаций и другие высокоточные приборы.

Пьезоакустический ИП

При приложении к обкладкам пьезоэлектрика напряжения, он деформируется (обратный пьезоэффект), создавая акустические волны внутри пищевода. Волны, отражаясь от стенок, фиксируются приемником (например, этим же пьезоэлектриком, но уже прямым пьезоэффектом). Время t между генерацией волны и её приемом пропорционально расстоянию до стенок пищевода S :

$$t = \frac{S}{v}$$

где v – скорость распространения волны в среде.

Достоинство: возможность бесконтактного измерения, высокая чувствительность (на этом методе строятся ультразвуковые приборы). Недостатки: сложность системы, невозможность измерения силы сжатия, волновые эффекты (резонанс, многократные отражения и др.).

В заключение нужно отметить, что каждый преобразователь имеет свои достоинства и недостатки. В качестве измерительного преобразователя для дальнейшей работы был выбран пьезорезонансный датчик, который обладает высокой чувствительностью при миниатюрных размерах самого датчика, простотой измерительной цепи, слабой зависимостью от внешних влияний.

Список литературы:

1. Бордин Д.С., Бор С. Манометрия как метод оценки моторной функции пищевода. / Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. - 2006, - № 3, - с. 13 - 20.
2. Саблин О.А., Гриневич В.Б., Успенский Ю.П., Ратников В.А. Функциональная диагностика в гастроэнтерологии. Учебно-методическое пособие. – СПб. – 2002. – 88 с.
3. Тензорезисторы для микродеформаций. <http://www.kyowa.ru/products/gages/mmg.htm>
4. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований. Измерительные преобразования в электрических полях: Учебное пособие. – Томск: 2007. – 32 с.
5. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.: ил.
6. Эрастов В.Е., Сидоров Ю.К., Отчалко В.Е. Измерительная техника и датчики: Учебное пособие. – Томск: ТМЦДО, 1999. - 178 с.

ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ Мирмаметов Э.З.

Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: emil_m90@mail.ru

Низкочастотный генератор напряжения входит в состав автоматизированного измерительного комплекса, который предназначен для калибровки и поверки масштабных измерительных преобразователей (делителей напряжения), аттенюаторов и магазинов затухания [1]. Кроме того, комплекс может быть использован при проверке других средств измерений и устройств, используемых в электроэнергетике, электронике и связи. Автоматизированный комплекс, помимо генератора напряжения включает в себя дифференциальный указатель и индуктивный делитель напряжения. Генератор напряжения синусоидальный (ГНС) выступает в качестве однозначной меры переменного напряжения 10 В среднеквадратического значения в диапазоне частот 20 Гц – 100 кГц. ГНС представляет собой переносной прибор в унифицированном корпусе типа «Надел» (рис. 1). Органы управления и присоединительные разъемы генератора расположены на передней панели.



Рис. 1. Передняя панель ГНС

Установка частоты производится с помощью множителей и ручки установки частоты. Установка уровня выходного напряжения осуществляется с помощью плавной ручки установки выходного напряжения.

При эксплуатации генератор проходит ряд первичной и периодических проверок. При проведении проверки должны быть применены средства поверки и вспомогательное оборудование, обеспечивающие контроль метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

Генератор выполнен по двухканальной структуре (рис. 2), состоящей из независимых низкочастотного и высокочастотного задающих генераторов с общим выходным усилителем мощности [2].

Переключение задающих генераторов осуществляется микроконтроллером MCU по сигналам, поступающим на порт PD с входного устройства – блока клавиатуры БК. При этом коммутация двух-

позиционного переключателя КЛ1 производится логическим сигналом с порта PB.

В генераторе предусмотрена возможность управления от ЭВМ верхнего уровня посредством интерфейса USB. Для этой цели порт PE микроконтроллера соединен с преобразователем интерфейса ПИ, представляющим собой преобразователь RS 232/USB. К другим портам микроконтроллера подключены остальные узлы генератора: PA, PB – параллельный цифроаналоговый преобразователь ЦАП1 и схема переключения поддиапазонов частоты для управления низкочастотным ЗГ, PC – параллельный ЦАП2 для управления высокочастотным ЗГ, PG – блок индикации частоты и уровня выходного напряжения на основном выходе генератора – «Вых.1», PF – вольтметр В (через буферное устройство БУ2). К порту PB подключен также фазовращатель, формирующий сигналы со сдвигом 90° на высокочастотном поддиапазоне генератора.

Высокочастотный задающий генератор представляет собой функциональный генератор, воспроизводящий синусоидальный сигнал 1,2 В среднеквадратического значения частотой 25 кГц, 31,5 кГц, 50 кГц, 63 кГц, 80 кГц и 100 кГц. Установка этих частот осуществляется напряжением постоянного тока, поступающим от ЦАП2. Выходное напряжение ВЗГ поступает на один из входов аналогового коммутатора КЛ1. На второй вход последнего поступает напряжение с основного выхода 0° низкочастотного ЗГ.

НЗГ является сложным устройством, позволяющим обеспечить требуемые метрологические характеристики в низкочастотном поддиапазоне 20 Гц...25 кГц.

Низкочастотный генератор построен по классической схеме инвертора и двух интеграторов. При этом в цепях стабилизации амплитуды используются пиковый детектор, усилитель ошибки и регулирующий элемент на основе аналогового перемножителя. Такая структура позволяет обеспечить высокую стабильность выходного напряжения и его малые нелинейные искажения (коэффициент гармоник менее 0,2 %) в диапазоне частот 0,02...20 кГц.

Управление режимами работ генератора и дифференциального указателя обеспечивается встроенным микроконтроллером *Atmega 128*.

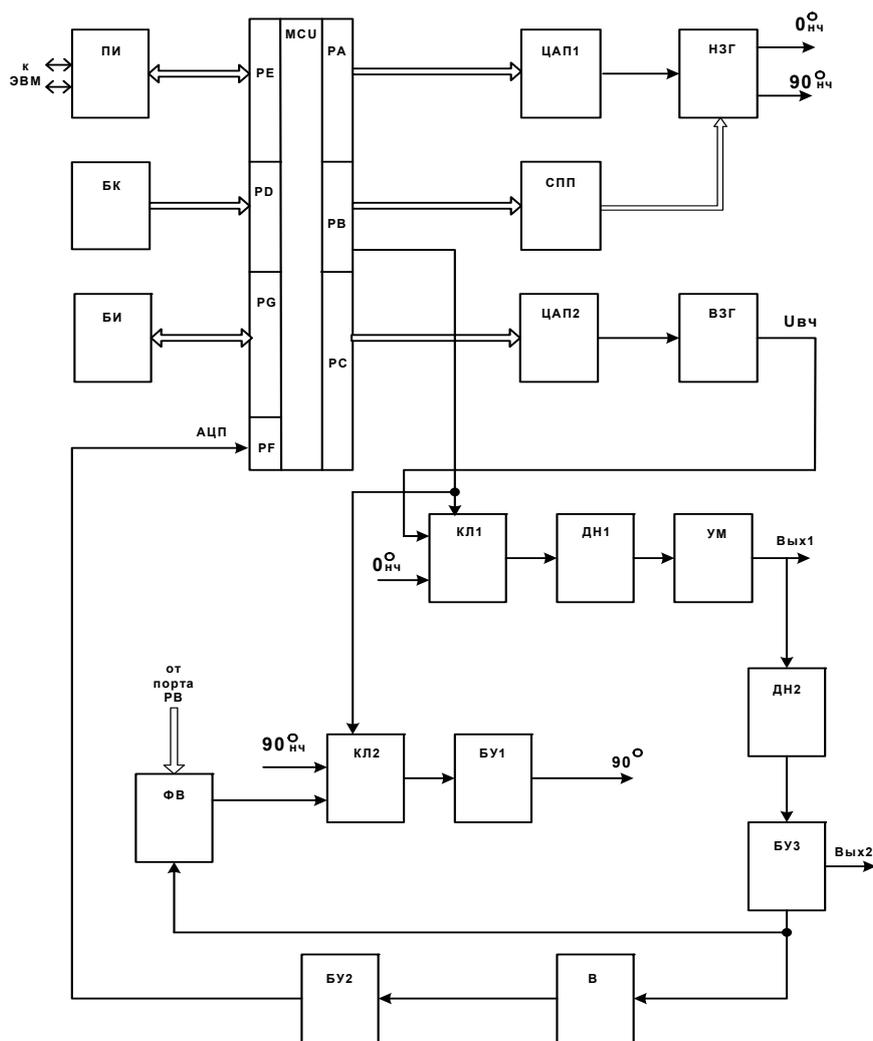


Рис. 2. Структурная схема генератора

Основные технические характеристики:

- диапазон рабочих частот 20 Гц – 100 кГц;
- дискретность установки частоты с погрешностью не более 5 %;
- выходное напряжение 10 В эффективного значения на нагрузке 100 Ом;
- коэффициент гармоник не более 2 %;
- неравномерность АЧХ не более ± 3 %;
- нестабильность выходного напряжения за 15 минут не более ± 0,3 %;
- нестабильность уровня выходного напряжения генератора за 3 часа времени по истечении времени установления рабочего режима не превышает ± 10 %;
- неравномерность уровня выходного напряжения генератора при перестройке частоты относительно значения напряжения на частоте 2 кГц не превышает ± 7 %;
- коэффициент гармоник выходного напряжения не более 2 %;
- генератор обеспечивает свои технические характеристики по истечении времени установления рабочего режима, равного 30 мин;

- генератор допускает непрерывную работу в течение 8 ч. при сохранении своих технических характеристик;
- потребляемая мощность от сети при номинальном напряжении не более 25 ВА.

Рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающей среды (20±5) °С;
- относительная влажность окружающего воздуха от 30 до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;
- напряжение питания при частоте (50±1) Гц от 198 до 242 В.

Список литературы:

1. Ким В.Л., Пругло В.И. Автоматизированная установка для исследования масштабных измерительных преобразователей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 4.
2. Боригов В.Н., Ким В.Л., Меркулов С.В. Генераторы тестовых сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 1.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСХОДОМЕРА ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА

К.О. Назарова

Научный руководитель: Л.Б. Гурин, д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Ленина, 30

E-mail: nazarova_ksenia@mail.ru

Система измерения и регулирования расхода предназначена для автоматизированного коммерческого учета продуктов производства, для определения качественных показателей среды при ведении документов, предназначенных для операций учета между поставщиком и потребителем на промышленных объектах, а также при проведении учетно-расчетных операций при транспортировке. В состав системы входят: блок измерения показателей качества, узлы регулирования расхода и давления, технологические и дренажные трубопроводы, блок фильтров.

Проектирование элементов системы осуществляется в программном комплексе T-FLEX, позволяющем создавать чертежи и 3D модели, рассчитывать эксплуатационные характеристики в соответствии с ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5-2005.

Основной элемент системы – измерительный прибор, диафрагменный расходомер, – служит для измерения расхода несжимаемых сред в закрытых трубопроводах. Место монтажа, позиция установки и направление потока датчика могут быть любыми. В качестве опции измерительный прибор также может использоваться для контроля потока с установленными концевыми контактами и непрерывной передачи показаний в реальном времени в общую систему управления производством [4]. При расчете сужающего устройства (диафрагмы) были приняты исходные данные:

- Условное давление в трубопроводе (P): от 0,6 до 4 МПа;
- Внутренний диаметр трубопровода (D): от 300 до 500 мм;
- Число Рейнольдса: 5000;
- Плотность воды: 1000 кг/м^3 .

В программе MS Excel получены значения следующих параметров:

- Объемный расход (Q): $0,0278 \text{ м}^3/\text{с}$;
- Коэффициент истечения (C): 0,6.

В зависимости от конструкции, износоустойчивости, способа установки, условного давления и диаметра условного прохода трубопровода диафрагмы подразделяются на: ДКС – диафрагма камерная стандартная, устанавливаемая во фланцах трубопровода, ДБС – диафрагма бескамерная стандартная, устанавливаемая во фланцах трубопровода, ДФК – диафрагма фланцевая, камерная, имеет оригинальную конструкцию, сочетая камерный способ отбора давления и фланцевое соединение.

Применение диафрагмы ДБС в комплекте с фланцевым соединением позволяют

минимизировать измерительную погрешность [1]. Диаметры отверстий для фланцевого способа отбора давления существенно больше по сравнению с диаметрами отверстий для углового способа, поэтому влияние шероховатости и вероятность засорения гораздо ниже. В конструкцию фланцевого соединения входят фланцы с патрубками, болты, гайки, уплотнительные прокладки.

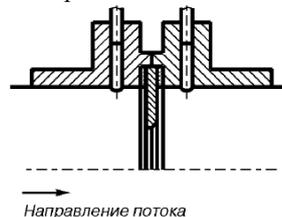


Рис. 1. Фланцевый способ отбора

Конструктивные исполнения диафрагмы ДБС регламентированы ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5-2005. Устанавливают сужающее устройство во фланцах трубопровода на условный проход от 300 до 500 мм, и условное давление до 4 МПа, (рис.2., наружный диаметр диафрагмы, D и диаметр отверстия диафрагмы, d определяют формулы (5,4)-(5,7) ГОСТ 8.586.1-2005, толщина диафрагмы, E_d определяется при итеративном расчете в MS Excel [5]; нормирование уклонов кромок H , G , l описано в ГОСТ 8.586.2-2005, $\alpha = 9(13,5 - 15,5^\circ)$; длина

цилиндрической части отверстия диафрагмы, e находится в пределах от $0,005D$ до $0,02D$). Габаритные размеры ДБС (рис. 3) по МИ 2638-2001 (длина фланцев, D и общая длина узла трубопровода, L). Материал диафрагмы - сталь 12X18H10T ГОСТ 5632, материал корпусов кольцевых камер - сталь 20 ГОСТ 1050.

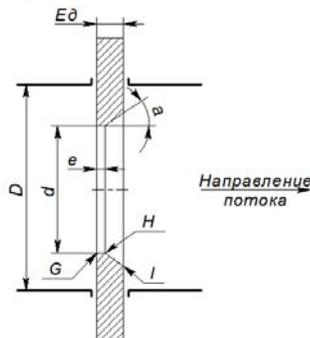


Рис. 2. Диафрагма бескамерная

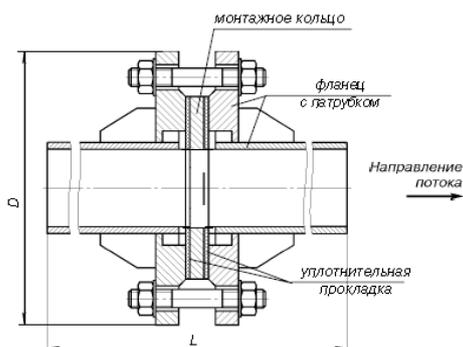


Рис.3. Монтажная схема

Физический процесс, происходящий при измерении переменного перепада давления описывается основным уравнением расхода [2,3]:

$$Q = \alpha \epsilon F_0 \sqrt{2\rho \Delta P},$$

где ρ – плотность измеряемой среды перед диафрагмой, кг/м³; $F_0 = \pi d^2/4$ – площадь проходного сечения диафрагмы, м², d – диаметр отверстия диафрагмы; α – коэффициент расхода (3,5) ГОСТ 8.586.1-2005; ϵ – поправочный коэффициент (коэффициент сжимаемости), учитывающий расширение измеряемой среды в результате снижения ее давления при протекании через сужающее устройство (для несжимаемых сред $\epsilon = 1$).

Каждый параметр, входящий в уравнение, задается через переменную в редакторе переменных T-Flex CAD 2D/3D. При изменении значений диаметра сужающего устройства и диаметра измерительного трубопровода значение расхода автоматически пересчитывается. Выходные параметры, такие как объемный расход среды, коэффициент истечения, рассчитываются «внутри» 3D-модели с использованием средств редактора переменных. На рис. 4 представлена 3D-модель участка фланцевого соединения системы контроля и регулирования расхода.

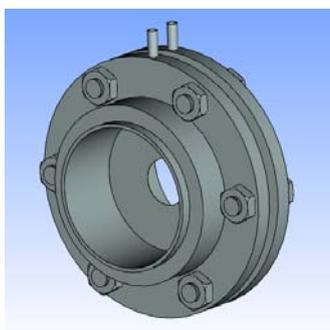


Рис.4 – 3D-модель фланцевого соединения

Одним из основных требований к системе является точность измерения объемного расхода, которая достигается путем подбора оптимального соотношения между диапазоном измеряемого расхода среды, размерами участка измерительного трубопровода и сужающего устройства.

Для стандартного фланцевого соединения приняты расстояния от входного торца диафрагмы до точек отбора давления: $L_1 = L_2 = 25,4/D$ мм по ГОСТ 8.586.1-2005. В MS Excel с помощью итеративного расчета получено значение коэффициента истечения из уравнения (1).

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.1840\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5}(10^6/R\epsilon)^{0.75} + 0.0900\left(\frac{L_1}{D}\right)\left[\frac{\beta^4}{1-\beta^4}\right] - 0.0337(L_2/D)\beta^2, \quad (1)$$

где β - отношение диаметра отверстия диафрагмы, d к диаметру измерительного трубопровода, D .

Таким образом, рассчитанные параметры сужающего устройства по условному измеренному перепаду давления, принятому равным 0,8 МПа, определяют конструкцию узла фланцевого соединения при проектировании расходомера переменного перепада давления для системы контроля и регулирования расхода.

Список литературы:

- ГОСТ 8.586.1,2,5 – 2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Принцип метода измерений и общие требования. – Введ. 2007-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 57 с.
- Назарова К.О. «System of gas flow control and regulation» // XVII International Scientific and Practical conference of students, Postgraduates and Young Scientists «Modern technique and technology» – Tomsk: TPU Press, 2011. – 11-12 p.
- International Organization of Standards - ISO 5167-1:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices, Part 1: Orifice plates, nozzles, and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.
- Bengtson, Harlan H., Flow Measurement in Pipes and Ducts, An online, continuing education engineering course for PDH credit.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КАЧКИ

Насонов С.В.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: seregka90@list.ru

Бурное развитие гироскопической техники в настоящее время потребовало создания оборудования для поверки и юстировки гироскопических приборов. В число такого оборудования входят и стенды угловых движений, позволяющие производить испытания на точность и устойчивость при воздействии качки и длительных наклонов.[1] Такой стенд представляет собой платформу, качающуюся с заданной частотой и амплитудой. К такому оборудованию предъявляется ряд требований, оно должно быть высокоточным, экономичным и надежным, что обеспечивает получение достоверной информации о состоянии испытуемых технических устройств. Поскольку по результатам измерений принимаются весьма ответственные решения (например, годен или не годен исследуемый объект к работе), то должна быть уверенность в точности, достоверности измерений. Особенно важное значение эти испытания имеют для техники, применяемой на флоте и авиации (курсовертикаль, гироскоп, гиросtabilизатор и т.д.).[2]

Обычно уровень испытательной техники отражает и уровень создаваемой техники, которая постоянно совершенствуется. В связи с этим испытательные стенды на воздействие качки непрерывно совершенствуются. Последние 20 лет все настоятельнее выдвигаются требования создания стендов с автоматизацией процесса измерений и обработки результатов. В состав стендов входит все больше цифровых устройств, которые позволяют в автоматическом режиме производить: управление; контроль; отображение, запись, хранение и обработку информации о производимых исследованиях. Примером таких устройств могут служить различные микропроцессоры. Микропроцессоры позволяют обеспечить более высокую точность измерений, значительное сокращение времени измерений, программное управление, автоматическую обработку результатов измерений.[1]

В общем случае в состав стенда входят:

1. Опорно-поворотное устройство с платформой для установки испытуемого прибора. Часто платформа выполняется в виде съемного устройства, что позволяет создавать ряд конструктивных модификаций под различные испытуемые приборы.
2. Система управления стендом. Зачастую представлена ЭВМ.
3. Контролирующее устройство. В основном для контроля используются датчики угла.
4. Блок питания

Среди испытательных стендов угловых движений можно произвести квалификацию по количеству степеней свободы:

1. Одноступенные
2. Двухступенные
3. Трехступенные

В зависимости от количества степеней свободы можно создавать внешние угловые воздействия по азимуту, тангажу и крену. Чем больше степеней свободы имеет стенд, тем более сложный характер движения можно задать и получить больше информации. Однако, увеличение количества степеней свободы ведет за собой усложнение конструктива установки. Тот или другой тип стендов применяется для поверки приборов в зависимости условий, в которых будет работать прибор, и задач выполняемых им.

Другую классификацию стендов можно привести в зависимости от применяемого привода:

1. Пневматические (движение давления происходит за счет сжатого воздуха)
2. Гидравлические (движение происходит за счет давления жидкости)
3. Электрический (движение происходит с помощью электрического двигателя)

Наибольшее распространение получили стенды с электрическим приводом, так как по сравнению с двумя другими типами приводов, стенды с электрическим приводом имеют более простой конструктив и более высокую точность задания угловых перемещений.

В данное время на рынке представлен широкий ассортимент стендов угловых движений отечественных и зарубежных производителей. В качестве примера существующих стендов можно привести следующие образцы:

Стенд трехступенный производства компании Lemt[3]

Стенд предназначен для проверки юстировки, создания внешних угловых воздействий по азимуту, тангажу и крену и автоматической оценки эффективности подсистемы стабилизации.

Угол поворота платформы стенда относительно нулевого положения, не менее:

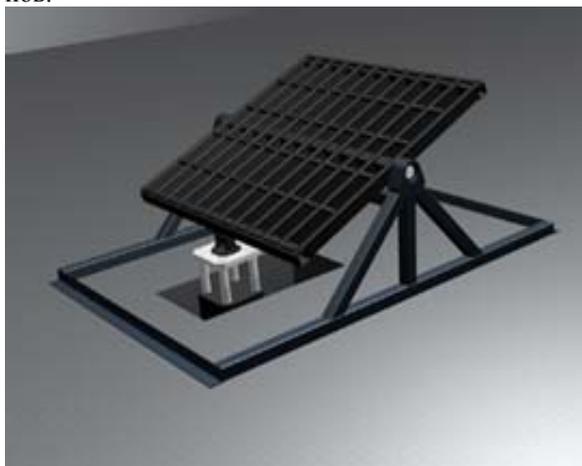
- в плоскости ГН: $\pm 120^\circ$
- в плоскости ВН: $\pm 17^\circ$
- в плоскости КР: $\pm 7^\circ$.



Рисунок 1. Стенд трехступенный производства компании Lemt

Стенд одностепенный производства компании ВИБРОСЕРВИСТЕСТ[4]

Стенд предназначен для испытаний на устойчивость при воздействии качки и длительных наклонов.



-Угол наклона до ± 45 градусов.-Масса изделия до 900 кг.

Рисунок 2. Стенд одностепенный производства компании ВИБРОСЕРВИСТЕСТ

Передо мной была поставлена задача предложить наиболее простую конструкцию одноосного стенда угловых движений, который бы выполнял задачи по тестированию оборудования, разрабатываемого на кафедре в рамках студенческих научно-исследовательских работ (такого как курсоверталь, гирокомпас, гиросtabilизатор и т.д.). Стенд должен удовлетворять следующим требованиям:

Частота 0,1-3Гц. Для решения этой задачи планируется использовать синхронный двигатель, так как можно изменять скорость его вращения, изменяя частоту управляющего сигнала. Частоту управляющего сигнала можно регулировать, используя преобразователь частоты.[5]

Изменение амплитуды колебаний: максимальная $\pm 30^\circ$, минимальная $\pm 1^\circ$. Это будет достигаться за счет изменения размеров некоторых конструктивных элементов редуктора. Отсюда вытекает следующее требование, что конструкция должна обеспечивать возможность изменять размеры элементов, не производя разбор конструкции. Указанное условие достигается применением различных штоков и механизмов, меняющих свою геометрию.

Масса испытуемого объекта до 5 кг. Данное условие должно удовлетворять требованиям к прочности и динамическим характеристикам стенда. Задача должна быть выполнена подбором материалов, из которых будут выполняться конструктивные элементы стенда.

Контроль за результатами проводимого исследования. Для решения этой задачи с платформой на которой закреплен испытуемый объект, совершающей колебательные движения, связан ротор датчика угла, статор которого закреплен на основании.[5] Информация с датчика угла будет поступать на индикаторное табло (для текущего контроля за ходом исследования) и на устройство, которое будет записывать и хранить результаты исследования (для этих целей планируется использоваться компьютер либо микроконтроллер).

Синусоидальный характер колебаний платформы. Эта задачу в данном случае будет выполняться путем подбора кинематики стенда.

Список литературы:

1. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники/ Г.П.Богданов, В.А.Кузнецов, М.А.Лотонов и др; под редакцией В.А.Кузнецова.-М: Радио и связь, 1990. – 240 с.
2. Метрологическое обеспечение гироприборов. /Иванов В.А. — Л.: Судостроение, 1983. - 180 с.
3. <http://lemt.by>
4. <http://vstest.ru>
5. <http://www.prst.ru>

РАЗРАБОТКА ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ФЕРРОЗОНДОВОГО МАГНИТОМЕТРА

Огай В.Е., Баранов. П.Ф.

Научный руководитель: Муравьев С.В., д.т.н, профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vita@tpu.ru

Введение

Создание сверхпроводящего квантового компьютера требует решения проблем, напрямую не связанных с квантовыми вычислениями, в частности, обеспечение работы квантового чипа в условиях сверхмалых магнитных полей. Элементы квантового компьютера – кубиты – очень чувствительны к внешнему магнитному полю, и для получения неискажённых результатов вычислений требуется обеспечить условия близкие к магнитному вакууму. Для сверхпроводящего чипа это означает отсутствие захвата квантов магнитного потока $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$ Вб, что эквивалентно остаточной магнитной индукции менее 100 пТл.

Измерение абсолютного магнитного поля при рабочей температуре квантового чипа от 20 до 50 мК с высокой точностью является сложной и во многом нерешённой задачей.

Наиболее широкое применение в качестве датчиков абсолютного магнитного поля при низких температурах нашли феррозондовые магнитометры [1]. Феррозонд обладает меньшей чувствительностью чем сквид, но может измерять быстро меняющиеся поля с высокой амплитудой.

В статье представлен опыт разработки однокомпонентного прототипа магнитометра на базе миниатюрного феррозондового датчика для обеспечения работы сверхпроводящего квантового компьютера.

Конструкция феррозондового датчика

К конструкции феррозондового датчика, предназначенного для работы в области сверхнизких температур в вакууме, предъявляются особые требования: низкая теплоемкость; малое время термализации; низкое газовыделение.

Для уменьшения массы и габаритов датчика была выбрана планарная конструкция. Такой подход позволил минимизировать габаритные размеры и упростить создание обмоток. Проводники изготавливаются из меди, которая обладает высокой теплопроводностью при низких температурах. Для придания обмоткам сверхпроводящих свойств, медные проводники покрываются слоем свинцово-оловянного сплава с температурой сверхпроводящего перехода около 5,3 К.

С целью минимизации экономических издержек и большей гибкости в выборе параметров феррозонда использовалась упрощенная технология однослойных печатных плат.

По этой технологии изготавливаются отдельные платы обмоток возбуждения (рис. 1а) и считывания (рис. 1б).

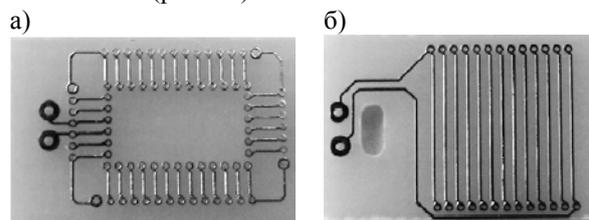


Рис. 1. Печатная плата с обмоткой возбуждения (а) и считывания (б)

На одной стороне платы с обмоткой возбуждения располагаются печатные проводники, на другую сторону приклеивается сердечник из магнитомягкого ферромагнитного материала Finemet производства фирмы Hitachi [2], вырезанный механическим путем.

Finemet – материал, полученный из аморфного железа путем специальной термообработки. В результате в материале образуются нанокристаллы, придающие металлу уникальные физические свойства, позволяющие улучшить метрологические характеристики феррозондов.

Для создания одной обмотки возбуждения на плату с сердечником накладывается вторая печатная плата с обмоткой возбуждения. Соединения между платами осуществляются с помощью покрытого медью NbTi провода диаметром 0,05 мм.

После спайки обмотка возбуждения пропитывается клеем Stycast 2850 FT, Сушка производится в вакууме меньше 10^{-2} мбар.

Затем на заготовку с двух сторон прикладываются платы с обмоткой считывания. Соединения проводников обмоток производится также с помощью покрытого медью NbTi провода диаметром 0,05 мм.

После спайки обмотки возбуждения датчик снова пропитывался клеем Stycast с сушкой в вакууме. Внешний вид готового датчика изображен на рис. 2

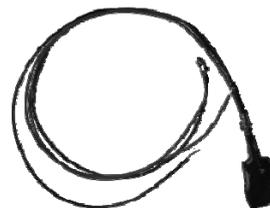


Рис. 2. Датчик в сборе

Схема кондиционирования сигнала с феррозондового датчика

Для формирования управляющего воздействия на феррозондовый датчик магнитного поля и считывания с него ЭДС, пропорционального магнитной

индукции измеряемого поля, была предложена функциональная схема кондиционирования сигнала контролера – рис. 3.

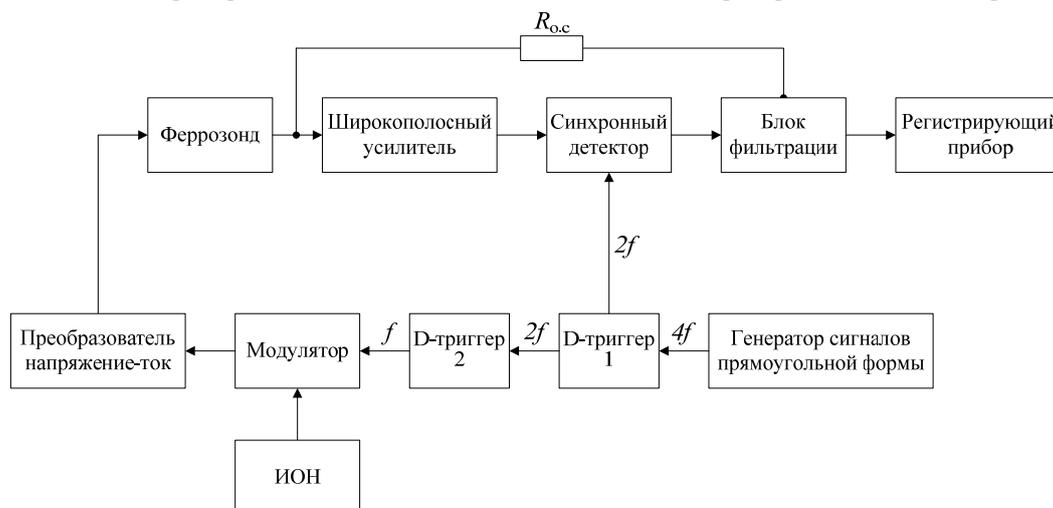


Рис. 3. Функциональная схема кондиционирования сигнала с феррозондового датчика

Возбуждение феррозондового датчика осуществляется с помощью задающего генератора на логических элементах, который формирует униполярные прямоугольные импульсы частотой равной $4f$. Для установления частоты сигнала f и скважности импульсов равной двум используются последовательно включенные два D -триггера. С выхода второго D -триггера сигнал с частотой f и скважностью 50 % подается на управляющий вход модулятора, на сигнальный вход которого подано постоянное напряжение с регулируемого источника опорного напряжения. В результате на выходе модулятора формируется биполярный сигнал скважностью два и частотой f , который через преобразователь напряжение в ток поступает на обмотку возбуждения феррозондового датчика.

Сигнал с измерительной обмотки феррозонда усиливается широкополосным усилителем и поступает на вход синхронного детектора, на второй вход синхронного детектора поступает сигнал с выхода первого D -триггера с частотой $2f$. В результате на выходе синхронного детектора выделяется сигнал, пропорциональный амплитуде второй гармоники, которая соответствует величине измеряемого магнитного поля. Выделенный сигнал фильтруется с целью устранения высокочастотного шума и через резистор отрицательной обратной связи $R_{о.с}$ задает компенсационный ток в измерительной обмотке феррозонда, а также через фильтр нижних частот (ФНЧ) поступает на регистрирующий прибор. Амплитуда напряжения на выходе ФНЧ пропорциональна значению магнитной индукции.

Проверка разработанного прототипа магнитометра и установление коэффициента

преобразования осуществлялась методом прямых измерений магнитной индукции внутри системы экранов, поле создавалось соленоидом. В качестве образцового магнитометра использовался феррозондовый магнитометр Mag-01H производства Bartington Instruments. Магнитометр Mag-01H позволяет измерять одну компоненту магнитной индукции с разрешением не более 1 нТл в диапазоне температур от 300 до 4 К.

Вывод

В ходе работы был изготовлен одноканальный феррозонд.

Проведены испытания и градуировка разработанного одноканального магнитометра с помощью магнитометра Mag-01H. Были измерены значения магнитной индукции в диапазоне от 100 до 1000 нТл и определен коэффициент преобразования разработанного феррозонда, равный 98,993 В/Тл, погрешность преобразования составила 1 %.

Работа выполнялась при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в рамках государственного контракта № 14.740.11.0950.

Литература:

1. Ando B., Baglio S., Bulsara A.R., Trigona C. Design and characterization of a microwire fluxgate magnetometer // Sensors and Actuators A 151. – 2009. – P. 145-153.
2. Finemet. EMC Components // Materials Magic, Hitachi. April 2007.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ УЗЛА СКВАЖИННОГО ПРИБОРА

Пакулько С.Ю.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dtps@lcg.tpu.ru

Для обеспечения необходимой точности и надежности гироскопической инклинометрической системы (ГИС) скважинного прибора, построенной с использованием динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ), возникает необходимость в применении системы термостатирования (СТС). Особые требования поддержания температуры предъявляются к ДНГ. Для конкретного гиродатчика – ГВК-6 температура должна поддерживаться равной 75°C с допустимым отклонением в половину градуса, при том, что диапазон температур окружающей среды (ОС) для скважинного прибора составляет от минус 40°C до +120°C [1]. Решение проблемы термостатирования для узлов скважинной аппаратуры является актуальной для современного мира, так как проведение геологических исследований или бурение промышленных скважин на сегодняшний день не представляется без использования ГИС. В состав этих систем часто входят узлы, нуждающиеся в термостатировании. К ним можно отнести не только ДНГ, но и микромеханические гироскопы и акселерометры, некоторые электронные компоненты, а также любые важные элементы прибора, на которые температура оказывает негативное влияние.

На сегодня разработчиками были проведены исследования статических режимов работы системы. В результате были определены минимальные мощности исполнительных органов – нагревателя и охладителя.

Следующим этапом было необходимо провести исследование динамических режимов работы системы. Целью при этом является выбор исполнительных органов и законов управления. Для нагревателя и охладителя необходимо выбрать величину максимальной полезной мощности, которая обеспечит быстрое реагирование системы и выход на режим.

Для анализа динамических режимов работы СТС была составлена ее структурная схема, как системы автоматического регулирования (САР). Для каждого элемента схемы была составлена передаточная функция. Схема с учетом передаточных функций была перенесена в среду Simulink программы Matlab. В состав схемы были внесены изменения, дающие возможность выставлять начальные температурные условия и задавать характер изменения температуры ОС в процессе численного эксперимента. Построенная математическая модель дает возможность оценить работу СТС в различных режимах, изменяя как условия ОС, так и параметры системы.

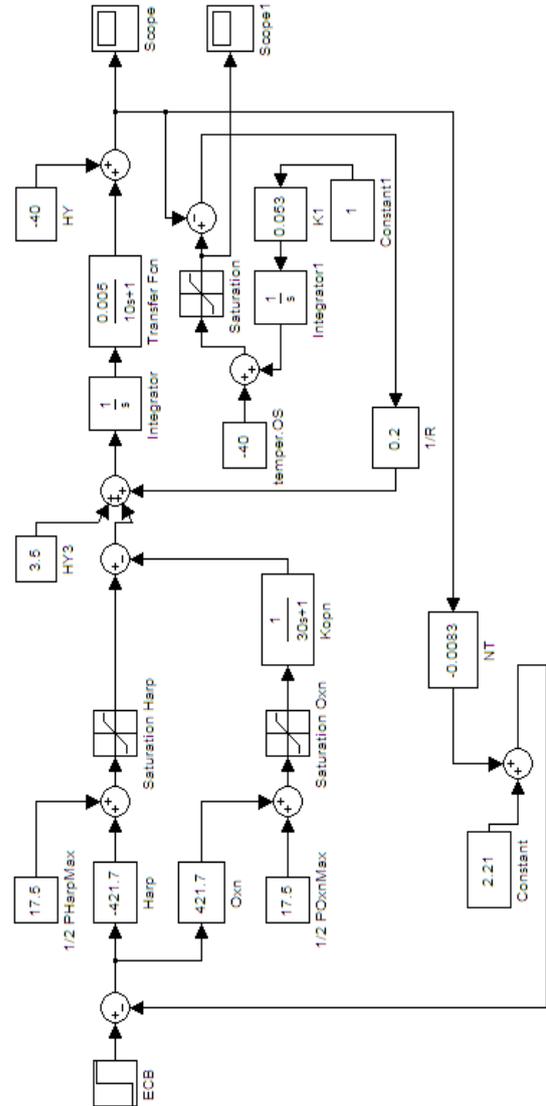


Рис. 1. Структурная схема САР

На рис. 1 введены следующие обозначения: ECB – единичное ступенчатое воздействие; $\frac{1}{2}$ PНагрMax и $\frac{1}{2}$ POхлMax – половина максимальной мощности нагревателя и охладителя соответственно; Нагр и Охл – звенья, моделирующие нагреватель и охладитель соответственно, управляемые с применением широтно-импульсной модуляции (ШИМ); Saturation Harp и Saturation Oxn – звенья, моделирующие работу нагревателя и охладителя соответственно в режимах нагревания и охлаждения СТС; Korp – звено, моделирующее запаздывание влияния ТОМ на объект регулирования (ОР), за счет корпуса чувствительных элементов; НУЗ – начальные условия, моделирующие, в случае необходимости, выделение тепла внутри ОР; Integrator и Integrator1 – звенья, моделирующие идеальное интегрирование; Transfer Fcn

– звено, моделирующее запаздывание в изменении температуры ОР; NU – начальные условия, моделирующие начальную температуру ОР; temper.OS – начальные условия, моделирующие начальную температуру ОС; Saturation – вводит ограничение температуры ОС в соответствии с рассматриваемым диапазоном; Constant1 – задающее воздействие, равное единице в случае необходимости задать условия изменения температуры ОС с течением времени, либо нулю при отсутствии такой необходимости; K1 – коэффициент, определяющий скорость изменения температуры ОС; 1/R – коэффициент, моделирующий теплопроводность между ОС и ОР; NT и Constant – звенья, моделирующие датчик температуры, расположенный на ОР; Score – элемент схемы, фиксирующий выходной сигнал системы (температуру ОР) и показывающий его изменение во времени; Score1 – элемент схемы, фиксирующий значения температуры ОС и показывающий ее изменение во времени.

На построенной модели были проведены исследования СТС при различных параметрах САР и условиях ОС. Изменяя только значение максимальной мощности охладителя и нагревателя, было получено семейство переходных процессов, по которому можно было сделать вполне очевидный вывод об увеличении перерегулирования и быстродействия системы с увеличением максимальных мощностей исполнительных органов. А при изменении лишь температуры ОС было получено семейство кривых температуры ОР, показанное на рис. 2.

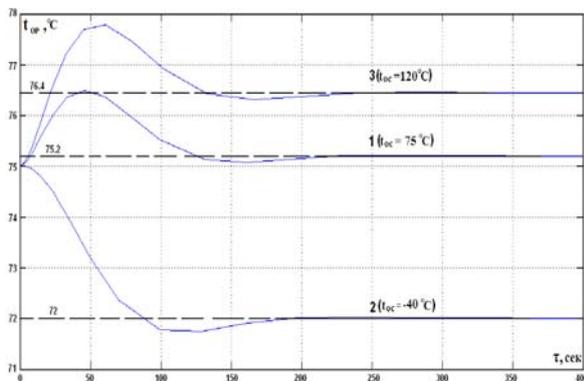


Рис. 2. Семейство кривых температуры ОР для различных температур ОС

Из рисунка видно, что статическая ошибка для каждого случая имеет определенную величину и зависит от значения температуры ОС. При этом статическая ошибка для случаев 2 и 3 достигает недопустимых значений.

Подобных данных также можно было ожидать, ведь для статических САР характерны статические ошибки [2]. Полученные результаты подтвердили ожидания исследователей, что говорит о корректном построении модели и о возможности дальнейшей работы с ней, а также составления на ее основе других подобных моделей.

Для снижения статической ошибки в алгоритм управления было решено ввести изодромное регулирование. В схему после главного сумматора было внесено изодромное звено, показанное на рис. 3. В состав изодромного звена входит интегратор Integrator и коэффициент k при нем.

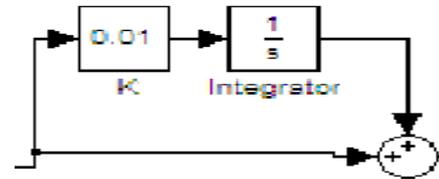


Рис. 3. Изодромное звено

Для получения оптимального результата было необходимо подобрать коэффициент k. На рис. 4 изображено семейство кривых температуры ОР, для различных коэффициентов k, для экспериментов был выбран случай выхода системы на режим при начальной температуре ОР и ОС равной минус 40°C.

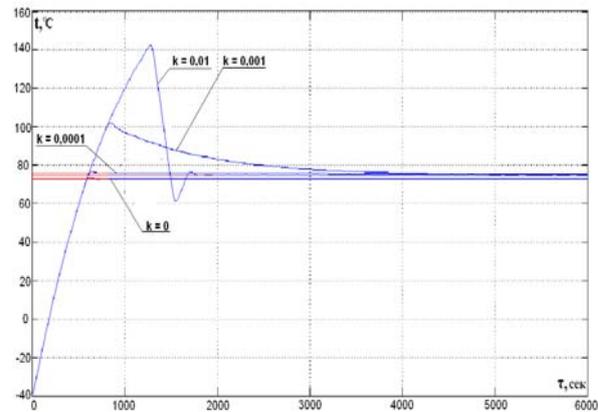


Рис. 4. Кривые переходных процессов при различных коэффициентах k

Из рис. 4 видно, что при малом k статическая ошибка выходит за обусловленные границы, а при большом k значительно увеличивается время выхода на режим. При оптимальном значении k (равном 0,01), статическая ошибка и быстродействие решают поставленную задачу, но перерегулирование слишком велико, и может вызвать тепловой удар ОР. Для снижения перерегулирования в алгоритм управления необходимо внести очередные изменения.

Литература:

1. Пакулько С.Ю. Система термостатирования узла чувствительных элементов скважинного прибора. 15 международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии», г.Томск 04 – 08 мая 2009. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2009. – С. 205, 206.
2. Основы автоматического управления: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СКР-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД

Петров Д.В.

Научный руководитель: Булдаков М.А., к. ф.-м. н., доцент.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3
E-mail: dpetrov@imces.ru

Определение компонентного состава сложных газовых смесей в реальном масштабе времени является актуальной задачей в различных областях народного хозяйства. Прежде всего, в приборах непрерывного контроля состава газовых сред нуждаются предприятия, занимающиеся добычей, транспортировкой и переработкой природного газа, где эти приборы используются для оптимизации технологических процессов и увеличения эффективности коммерческой деятельности этих предприятий. Кроме того, законодательно обязаны и экономически заинтересованы иметь газоаналитические приборы предприятия черной и цветной металлургии, электроэнергетики и ряда других производств, являющиеся крупнейшими источниками выбросов в атмосферу техногенных загрязняющих газов. Потребность в таких приборах имеют также природоохранные учреждения и службы МЧС РФ, решающие задачи, как экологического мониторинга загрязнения атмосферы, так и выявления чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом в атмосферу токсичных газов. В связи с этим, разработка газоанализаторов нового поколения для оперативного мониторинга многокомпонентных газовых сред природного и техногенного происхождения является важнейшей задачей газоаналитического приборостроения [1].

Одним из наиболее перспективных направлений в создании многокомпонентных газоанализаторов нового поколения является использование спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния света (СКР).

Комбинационное рассеяние света – процесс взаимодействия фотона $\hbar\omega$ с молекулой, в котором между ними происходит обмен энергией [2, 3]. В результате такого взаимодействия появляется рассеянный фотон $\hbar\omega'$, а молекула переходит с одного уровня энергии E_i на другой E_j . Разность частот падающего и рассеянного фотонов

$$\omega - \omega' = \frac{E_j - E_i}{\hbar}$$

определяется только структурой энергетических уровней молекулы и является ее индивидуальной характеристикой. Необходимо отметить, что для многоатомных молекул (количество атомов > 2) процесс рассеяния фотона на молекуле не однозначен: существует несколько каналов рассеяния фотона ($\hbar\omega \rightarrow \hbar\omega'$), которые определяются свойствами симметрии рассеивающей молекулы. Совокупность всех каналов рассеяния (частоты $\omega - \omega'$) и вероятности их реализации формируют

линейчатый спектр СКР данного молекулярного газа. Интенсивность отдельной колебательной линии спектра СКР (свет на частоте ω' , рассеянный в телесный угол $\Delta\Omega$) задается выражением

$$I_{\hbar\omega \rightarrow \hbar\omega'} = I_0 V N \sigma_{\hbar\omega \rightarrow \hbar\omega'} \Delta\Omega,$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения, V – рассеивающий объем, N – концентрация молекул данного сорта, $\sigma_{\hbar\omega \rightarrow \hbar\omega'}$ – дифференциальное сечение рассеяния для перехода $\hbar\omega \rightarrow \hbar\omega'$ молекул данного сорта.

Таким образом, данный метод газоанализа позволяет одновременно регистрировать любые молекулярные компоненты газовой среды с помощью одного источника света с фиксированной длиной волны, при этом сигнал СКР любой молекулярной компоненты газовой среды пропорционален ее концентрации, не подвержен тушению и не зависит от состава газовой среды. В частности, этот метод является единственным оптическим методом анализа газовых сред, качественный состав которых заранее неизвестен [4].

Основным недостатком описанного метода является низкая интенсивность рассеянного излучения обусловленная малым сечением рассеяния молекул ($\sim 10^{-30}$ см²/ср). Однако появление высокочувствительных многоканальных фотоприемников с низким уровнем собственных шумов, а также мощных малогабаритных лазерных источников работающих в непрерывном режиме сделало возможным создание газового СКР-спектрометра.

Разработанный в лаборатории экологического приборостроения ИМКЭС СО РАН лабораторный СКР-спектрометр (см. рис. 1) состоит из непрерывного твердотельного DPSS лазера (532 нм), газовой кюветы высокого давления (до 100 атм), фотообъектива с относительным отверстием f/1.8, голографического фильтра Notch plus обеспечивающего ослабление рэлеевского излучения на 6 порядков, спектрального прибора созданного на базе монохроматора МДР-12 на выходе которого стоит ПЗС-матрица Hamamatsu охлаждаемая элементами Пельтье, а также электронного блока управления, обеспечивающего работу прибора и его связь с внешним компьютером. Основной особенностью данной разработки является получение спектров СКР газов достаточно высокого качества на сравнительно недорогих комплектующих.

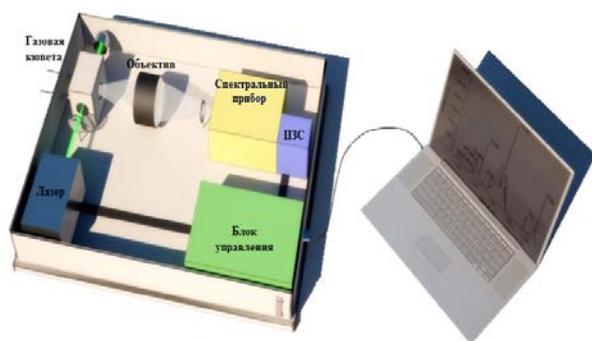


Рис. 1. Модель СКР-спектрометра

На данном СКР-спектрометре был получен спектр СКР атмосферного воздуха, являющегося хорошо известной многокомпонентной газовой средой естественного происхождения. Измерения проводились при следующих параметрах: мощность лазера 500 мВт, ширина входной щели монохроматора 200 мкм и длительность экспозиции 1000 секунд. В полученном спектре отчетливо регистрировались Q-ветви колебательных полос кислорода, азота и паров воды с комбинационными частотами, соответственно, 1555 см^{-1} , 2331 см^{-1} и 3652 см^{-1} .

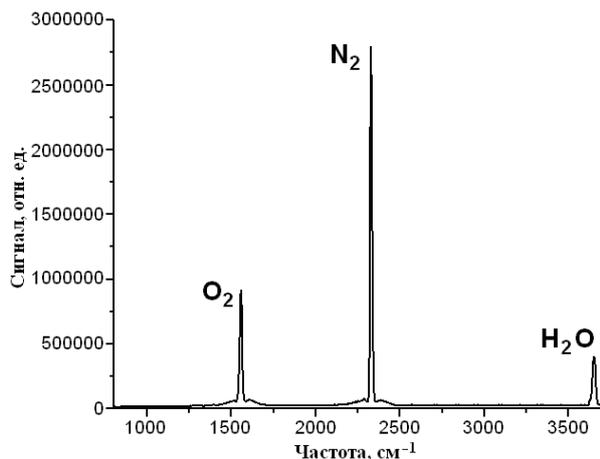


Рис. 2. Спектр СКР атмосферного воздуха

На данном СКР-спектрометре также проанализирована газовая смесь компонентный состав которой был заранее неизвестен. Так был зарегистрирован спектр биогаза, полученного при метановом брожении биомассы (см. рис. 3). Судя по характерным колебательным полосам можно сказать, что данная смесь содержала метан, азот, углекислый газ и пары воды.

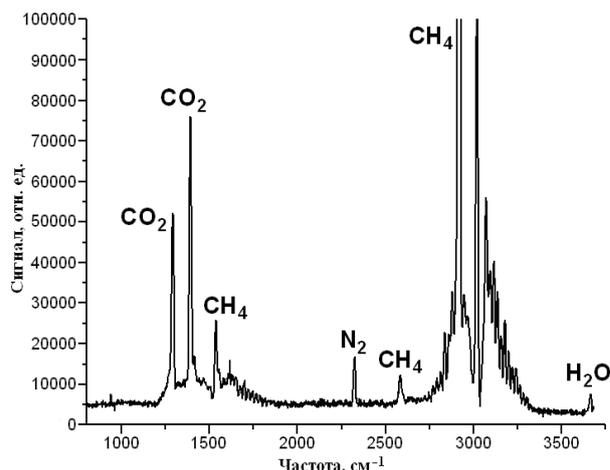


Рис. 3. Спектр СКР биогаза

Заключение

Естественно, что создание СКР-спектрометра это еще не создание СКР-газоанализатора способного без участия пользователя определять качественный и количественный состав анализируемой газовой среды. Для этого, в настоящее время, идет разработка программного обеспечения, а также специализированного под данную задачу малогабаритного спектрального прибора.

Работа выполняется в рамках базового проекта СО РАН VII.66.1.2.

Список литературы

1. Булдаков М.А., Матросов И.И., Петров Д.В., Тихомиров А.А. *СКР-газоанализатор для анализа природных и техногенных газовых сред* // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 2. С. 152-157.
2. Немец В.М., Петров А.А., Соловьев А.А. *Спектральный анализ неорганических газов*. Л.: Химия, 1988. 240 с.
3. *Спектроскопия комбинационного рассеяния света в газах и жидкостях* / Под ред. А. Вебера. М.: Мир, 1982. 375 с.
4. Булдаков М.А., Матросов И.И., Тихомиров А.А. *Современное состояние и тенденции развития газоаналитического приборостроения для контроля промышленных выбросов в атмосферу* // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 52–57.

РАСЧЕТ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УЛИЧНОГО СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Петухова Е.В., Акимов Б.В.

Руководитель: Гриценко Б.П. профессор кафедры ЛИСТ
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30

E-mail: katcha@sibmail.com

За последние несколько лет в мировой светотехнике произошли большие изменения. Если еще пару лет назад светодиоды использовались лишь в качестве декора или подсветки, то уже сегодня их в огромных масштабах применяют в промышленном и уличном освещении. Такая популярность этих источников света связана с рядом преимуществ:

1. Большой срок службы, около 50 000 часов;
2. Энергоэффективность. Светодиоды потребляют на 70% меньше электрической энергии по сравнению с люминесцентными (ДРЛ) и газоразрядными (ДНАТ) лампами ;
3. Экологическая безопасность, т.е. отсутствие вредных и опасных для здоровья человека и окружающей среды компонентов ;
4. Большие возможности по регулированию световых и цветовых характеристик излучения.

В нашей стране потребность в уличном освещении достаточно актуальна: время светового дня, в зависимости от времени года, сильно изменяется. Этот фактор, а также неблагоприятные погодные условия при плохом освещении увеличивает количество дорожно-транспортных происшествий. Согласно свода правил СП 52.13330.2011 [1], уровень освещенности для дорог класса А1 $E_{cp}=30$ лк, для дорог класса А2-А4, Б1 $E_{cp}=20$ лк, для Б2 $E_{cp}=15$ лк. Для увеличения расстояний между светильниками и сокращения их количества в наружном освещении используются светильники с широким и полушироким светораспределением. При расчетах освещения учитываются такие параметры как E_{cp} уличного светодиодного светильника (УСС), высота подвеса, мощность УСС ($P_{УСС}$), площадь освещаемой площадки.

В данной работе рассмотрен метод расчета светотехнической части УСС.

Для расчета использовались два программных комплекса Light Tools (LT) и Solid Works (SW). Программный комплекс LT предназначен для проектирования, расчета и анализа систем освещения. SW — программный комплекс для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства.

Основная работа была выполнена в LT: разработка светотехнической части УСС, расчет хода лучей, КСС и распределение освещенности. Программа SW использовалась для конструирования поверхностей отражателей.

Расчеты. В данной работе были разработаны различные варианты конструкций светотехнической части светодиодного светильника.

Наиболее удачные варианты представлены в таблицах 1-4.

Первый вариант состоит из двух отражателей и трех светодиодных линеек. Две крайние линейки со световым потоком $\Phi = 6000$ лм, центральная линейка с $\Phi = 3000$ лм, $P_{УСС} = 150$ Вт, габариты $200 \times 220 \times 45$ мм. Второй вариант имеет уже четыре отражателя, но 2 одинаковые светодиодные линейки: $\Phi = 6000$ лм, $P_{УСС} = 120$ Вт, габариты $150 \times 220 \times 45$ мм. И последний вариант состоит из четырех отражателей и трех светодиодных линеек: $\Phi = 6000$ лм для крайних линеек и $\Phi = 2000$ лм для центральной, $P_{УСС} = 140$ Вт, габариты $45 \times 220 \times 45$ мм (табл.1).

Таблица 2 отображает работу отражателей. На рисунках линиями показан ход лучей от светодиодных линеек.

При расчетах, для нахождения максимального угла α , который при данной КСС, обеспечивает заданную освещенность $E_{cp}=20$ лк, использовалась формула:

$$\arctg \frac{y}{x} = \alpha$$

где y – ширина освещаемой площадки, м; x – высота опоры, м. Также учитывался угол падения лучей света на дорогу.

Расчет показал, что для такого УСС необходим $\alpha = 60^\circ$. В первых двух вариантах угол α больше чем требуется и составляет 70° и 65° , соответственно. В третьем варианте $\alpha = 60^\circ$ (табл.3). Такая разница углов обусловлена конструкциями светотехнических частей УСС. Сильные провалы в КСС первого и второго варианта устранены в третьем варианте. В результате расчета были получены графики распределения освещенности при высоте подвеса светильника 12 м (табл.4). В таблице даны изображения распределения освещенности с нормированной шкалой. Необходимо отметить, что размеры освещаемой площадки на графиках больше, чем необходимо для дороги. Для определения равномерности распределения освещенности дорожного покрытия, должно выполняться условие:

$$\frac{E_{мин}}{E_{cp}} = 0,35 \quad [1]$$

Это условие выполняется только для первого и третьего варианта, отношение равно 0,55 и 0,64, соответственно. Не смотря на то, что первый вариант подходит под СП 52.13330.2011 [1], использовать его нельзя, т.к. из таблицы 4 видно, что освещенность на дороге не будет равномерной. Расчет третьего варианта светотехнической части УСС показал очень хорошие результаты по всем условиям задания. Вторым вариантом нельзя использовать для освещения дороги, т.к. данная светотехниче-

ская часть не подходит под СП 52.13330.2011 [1], а неравномерное светораспределение на дороге (таблица 4) приведет к утомляемости водителей.

Для светодиодных линеек с полученными параметрами можно использовать белые светодиоды, таких фирм как Osram, Cree, Nichia, Seoul Semiconductor и многие другие. Данные светодиоды всегда в наличии на российском рынке.

Вывод. В результате проделанной работы была разработана конструкция светотехнической части уличного светодиодного светильника (вариант 3),

для которой рассчитаны формы отражателей, габариты, необходимый поток и мощность световых приборов. Выполненный расчет показал равномерное освещение, что соответствует СП 52.13330.2011[1]. Такой вариант светотехнической части светильника можно использовать в производстве.

Список использованной литературы

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 20.05.2011. –М. 2011, 69 с.

Геометрия светотехнической части

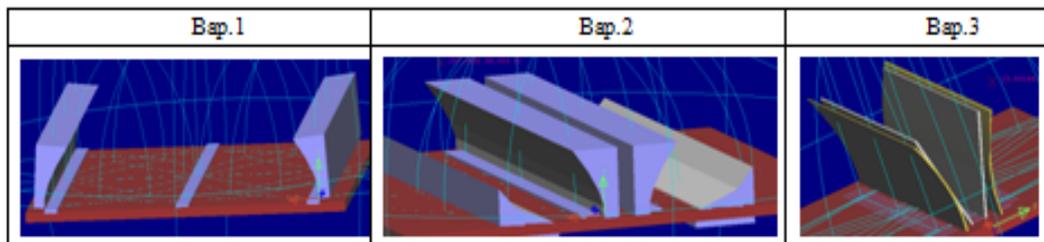


Таблица 2

Расчет хода лучей

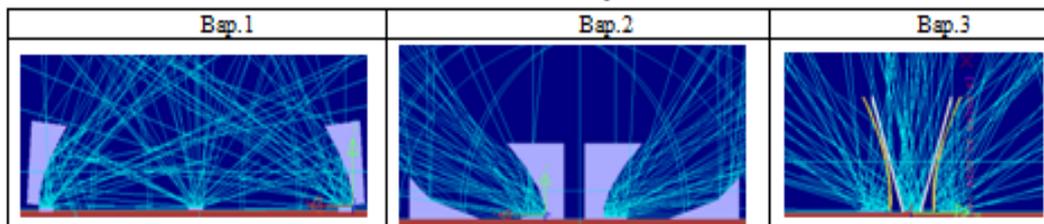


Таблица 3

Кривая силы света

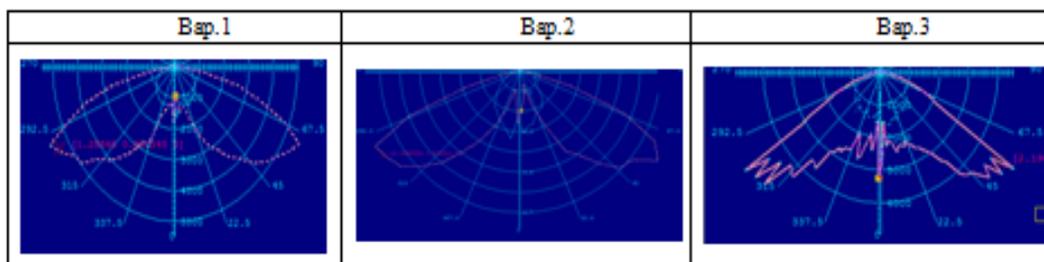
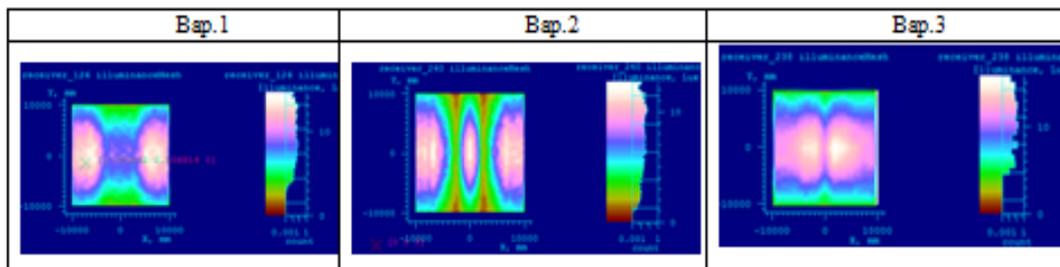


Таблица 4

Распределение освещенности



ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Полунина Н.Ю., Полунин Е.П.

Научный руководитель: Рогов И.В., к.т.н, доцент

Тамбовский государственный технический университет, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106

E-mail: natalika.gold@mail.ru

Для технологического контроля и сертификации теплозащитных материалов, от которых зависит эффективность энергосбережения, применяются информационно-измерительные системы (ИИС). ИИС повышают точность и оперативность определяемых параметров контроля качества материалов – теплофизических свойств (ТФС).

Применение современных аппаратно-программных средств автоматизации экспериментальных исследований позволило разработать ИИС для определения комплекса ТФС (теплопроводности (λ), температуропроводности (a), объёмной теплоёмкости ($ср$)) теплозащитных материалов (листовых, пористых, волокнистых, сыпучих) с $\lambda = 0,03 \dots 0,5$ Вт/(м·К) на образцах в виде диска диаметром от 120 до 160 мм, толщиной от 6 до 20 мм.

В состав технических средств ИИС входят (рис.1): тепло-измерительная ячейка (ТИЯ) 1; блок питания и управления (БПУ) 6; датчики температуры; жидкостной термостат 3; блок холодных спаев термопар (БХС) 2; циркуляционный насос 4 с электродвигателем 5; персональный компьютер (ПК) 7.

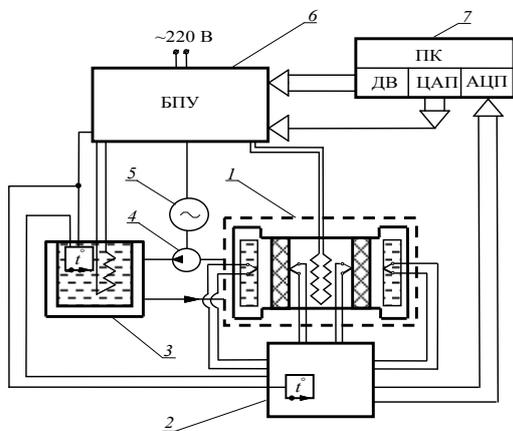


Рис. 1. Схема ИИС:

1 – тепло-измерительная ячейка; 2 – блок холодных спаев термопар; 3 – термостат жидкостной; 4 –насос циркуляционный; 5 – электродвигатель; 6 – блок питания и управления; 7 – персональный компьютер

Два образца (II) исследуемого материала располагаются с обеих сторон от латунного сердечника (III) ТИЯ, внутри которого расположен электрический нагреватель (IV), и прижимаются съёмными металлическими блоками (I) (рис. 2). Датчиками температуры являются две дифференциальные хромель-алюмелевые термопары (ДТ1, ДТ2) диаметров 0,2 мм. Спаи каждой термопары распо-

ложены соответственно на поверхностях образцов со стороны нагревателя (T_2, T_3) и со стороны металлических блоков (T_1, T_4). Через металлические блоки ТИЯ, соединённые последовательно, насосом 4 пропускается охлаждающая вода постоянной температуры. Термостат 3 поддерживает заданную температуру воды в металлических блоках с помощью нагревателя. Свободные спаи дифференциальных термопар помещаются в БХС 2.

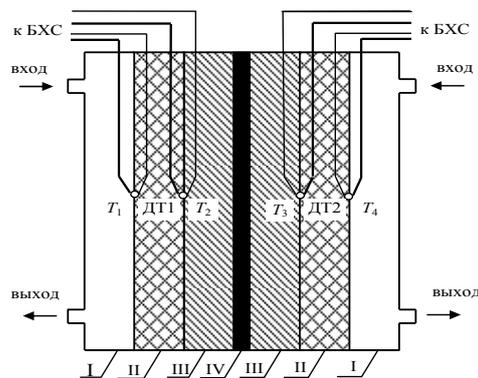


Рис. 2. Схема расположения термопар в ТИЯ:

I – металлических блок; II – образец испытуемый; III – сердечник латунный; IV – нагреватель электрический

Управление экспериментом и регистрация измерительной информации осуществляется с помощью ПК 7, оснащённого многофункциональной платой сбора данных.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) платы сбора данных управляет мощностью теплового потока нагревателя ТИЯ. На аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) платы поступает измерительная информация с термопар $T_1, T_2, T_3, T_4, ДТ1, ДТ2$.

В жидкостном термостате и внутри БХС расположены интегральные датчики температуры, сигналы с которых поступают на АЦП платы сбора данных. На датчики температуры подается напряжение 5 В с БПУ 6, который включен в сеть переменного напряжения 220 В.

Управление нагревателями ТИЯ и термостата осуществляется с помощью БПУ и обеспечивается через модуль ДВ дискретного ввода/вывода платы.

Автоматизация процессов сбора измерительной информации, управления ходом эксперимента, обработки экспериментальных данных осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения.

В основу работы ИИС положен многомодельный метод определения ТФС, который позволяет

определить значения λ , c , a из одного эксперимента на стадиях: нестационарного нагрева, стационарной стадии нагрева и нестационарного остывания. Теоретическую основу многомодельного метода составляют аналитические решения краевых задач теплопроводности в системе двух тел на трёх стадиях [1].

В ходе эксперимента фиксируется термограмма – зависимость показаний дифференциальной термомпары (ДТ1 и ДТ2) от времени $\Delta T = f(\tau)$, на которой можно выделить рабочие участки, где наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и расчетных значений температуры (II, IV, VII) и участки переходные, для которых построение точных аналитических моделей вызывает большие теоретические трудности (I, III, V, VI, VII) (рис. 3).

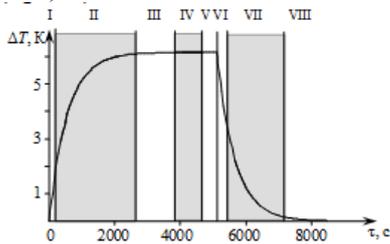


Рис. 3. Зависимость $\Delta T = f(\tau)$ для стадий: нагрева, стационарной, остывания. Материал: полиметилметакрилат (ПММА). Участки: I, III, V, VI, VIII – переходные; II, IV, VII – рабочие.

Расчётные выражения, описывающие термограмму на рабочих участках, имеют вид: стадия нагрева (II участок)

$$\Delta T_{II} = \frac{qh}{\lambda} - 2 \frac{qh}{\lambda} \cdot \frac{(1+3\sigma)^2}{3(1+4\sigma+6\sigma^2)} \cdot \exp\left(-\frac{3}{1+3\sigma} \cdot \frac{a\tau}{h^2}\right),$$

стационарная стадия (IV участок)

$$\Delta T_{IV} = \frac{qh}{\lambda},$$

стадия остывания (VII участок)

$$\Delta T_{VII} = 2 \frac{qh}{\lambda} \cdot \frac{(1+3\sigma)^2}{3(1+4\sigma+6\sigma^2)} \cdot \exp\left(-\frac{3}{1+3\sigma} \cdot \frac{a\tau}{h^2}\right).$$

Здесь: $q = Q/2F$ – удельный тепловой поток, проходящий через половину двухслойной симметричной системы, Вт/м²; Q – мощность нагревателя, Вт; F – площадь поверхности сердечника, м²; $\sigma = c_1\rho_1h_1/2c\rho h$ – относительная теплоемкость материала сердечника; λ , c , ρ , a – теплопроводность, Вт/(м·К), удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К), плотность, кг/м³, температуропроводность, м²/с, образца; c_1 , ρ_1 – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) и плотность, кг/м³, материала сердечника; h , h_1 – значения толщины образца и сердечника, м; τ – время, с.

Расчётные выражения для определения комплекса ТФС на стадиях нагрева и остывания имеют вид:

объемная теплоёмкость

$$c\rho = -\frac{2b_0b_1c_{II} + q + \sqrt{-2b_0^2b_1^2c_{II}^2 - 2b_0b_1c_{II}q + q^2}}{b_0b_1h}, \quad (1)$$

теплопроводность

$$\lambda = -\frac{b_1h(c\rho + 3c_{II})}{3}, \quad (2)$$

температуропроводность

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}. \quad (3)$$

Здесь $b_0 = 2 \frac{qh}{\lambda} \cdot \frac{(1+3\sigma)^2}{3(1+4\sigma+6\sigma^2)}$, $b_1 = -\frac{3}{1+3\sigma} \cdot \frac{a}{h^2}$ –

параметры моделей, описывающих термограмму на рабочих участках, значения которых определяются по методу наименьших квадратов.

На стационарной стадии нагрева определяется теплопроводность испытуемого материала:

$$\lambda = \frac{qh}{\Delta T_{IV}}.$$

Реальная модель ТИЯ отличается от двухслойной модели, для которой получены аналитические решения (1) – (3). Сердечник ТИЯ имеет сложную конструкцию, состоящую из слоя слюды и слоя латуни. Кроме того, в металлических блоках имеет место теплоотдача от охлаждающей воды. Для учёта влияния вышеперечисленных факторов и введения поправок в исходную двухслойную модель, разработаны программы в среде Matlab. Данные программы позволяют решать краевые задачи теплопроводности многослойной модели, учитывающей реальные процессы в ТИЯ, а также проводить оценку параметров b_0 , b_1 методом линейного и нелинейного регрессионного анализа.

Представленная ИИС реализует в полном объёме, включая аппаратные составляющие, средств измерения и автоматизации, вычислительные средства, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, многомодельный метод определения ТФС теплозащитных материалов.

Многомодельный подход обеспечивает оперативность, надёжность и достаточную точность определения комплекса ТФС за счёт использования нескольких рабочих участков экспериментальной термограммы, зафиксированной при нагреве, на стационарной стадии и при остывании испытуемых образцов.

Список литературы:

1. Рогов И.В., Гужилина Н.Ю., Полуниин Е.П., Майникова Н.Ф. Измерительная система на базе бикалориметра, реализующая многомодельный метод определения теплофизических свойств // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – Т. 77. – № 8. – С. 36 – 39.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Пудовкина Е.В., Антонов А.О.

Научный руководитель: Майникова Н.Ф., д.т.н., профессор

Тамбовский государственный технический университет, 392000, г.Тамбов, ул. Советская, д.106

E-mail: teplotehnika@nnn.tstu.ru

Одним из основных показателей уровня развития промышленности является качество выпускаемых металлополимерных изделий, а именно, совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. В это понятие входят самые различные параметры, которые необходимо контролировать. Это и прочностные, теплофизические свойства, наличие включений, отслоений и других дефектов, геометрические параметры, например, толщина защитного покрытия. Важную роль в решении задачи обеспечения выпуска качественной продукции играют методы и средства контроля.

Неразрушающий контроль (НК) характеристик качества многослойных материалов (и изделий из них) актуален. Новые методы и средства контроля соотношений толщин слоев, сплошности соединения и др. востребованы. Определение теплофизических свойств (ТФС) отдельных слоев и конструкции в целом активными методами теплового контроля перспективно.

Среди тепловых методов, предназначенных для решения указанных проблем, определенный интерес представляют неразрушающие методы теплового контроля с использованием плоского источника тепла постоянной мощности, встроенного в подложку измерительного зонда и расположенного на поверхности полуограниченного в тепловом отношении объекта. Достоинства данных методов: сравнительная простота реализации; малое время, необходимое для проведения эксперимента. Исследования в этой области на сегодняшний день являются актуальными. Это определяется тем, что ТФС материалов находят на основании косвенных экспериментов и рассчитывают по определенным математическим моделям. В результате точность контроля во многом обуславливаются тем, насколько верно математическая модель описывает тепловые процессы, проходящие при измерении.

Цель работы состоит в разработке измерительной системы для неразрушающего теплового контроля толщины защитных полимерных покрытий металлических изделий.

Были решены следующие задачи: выбрана измерительная схема метода теплового НК с круглым плоским источником тепла постоянной мощности; сформулирована и решена краевая задача теплопроводности, применительно к двухслойной системе: полимерное покрытие – металл; исследована математическая модель метода, позволяющая определять толщину слоя полимерного покрытия по температурным откликам на тепловое воздействие от источника тепла, дейст-

вующего на поверхности двухслойного тела; разработана методика и определены оптимальные условия НК двухслойных материалов; разработана и реализована в аппаратном исполнении измерительная система НК [1].

Структурная схема измерительной системы (ИС) представлена на рис.1.

ИС состоит из персонального компьютера (ПК), измерительно-управляющей платы, измерительного зонда (ИЗ), регулируемого блока питания (БП). Зонд обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемое изделие с помощью нагревателя (Н), температура в заданной точке контроля фиксируется термоэлектрическим преобразователем (ТП). В качестве ТП используются дифференциальная термопара, горячий спай которой устанавливается в плоскости контакта ИЗ с исследуемым объектом, холодный спай устанавливается на подложку ИЗ. Мощность и длительность теплового воздействия встроенного в подложку ИЗ нагревателя Н задаются программно через интерфейс (И), контроллер К1, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и блок питания (БП).

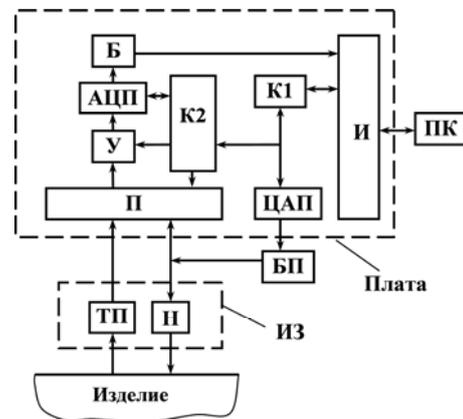


Рис.1. Структурная схема измерительной системы

Сигналы с ТП и блока питания поступают через мультиплексор (П), усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буфер обмена (Б) и интерфейс (И) в ПК. Сбор информации производится при нагреве исследуемого тела. ИС реализует алгоритмы управления режимами эксперимента и определения толщины защитных покрытий.

Измерительная и тепловая схемы метода представлены на рис 2, 3.

Тепловое воздействие на исследуемое тело с равномерным начальным температурным распределением осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска радиусом R , встроенного в подложку ИЗ. Подложка ИЗ изготовлена из теплоизолятора с ТФС: температуропроводностью a_3 , теплопроводностью λ_3 , теплоемкостью c_3 , плотностью ρ_3 .

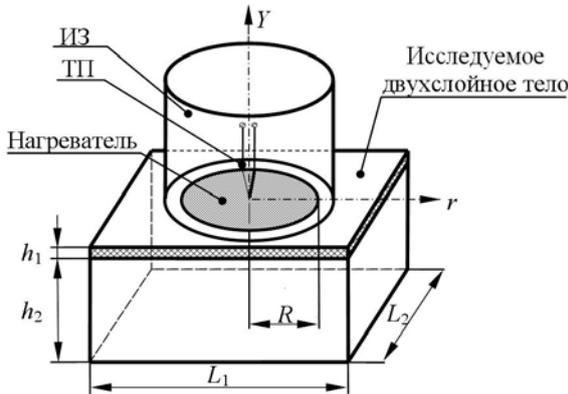


Рис.2. Измерительная схема

Исследуемое тело представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев: первый – низкотеплопроводный с ТФС: $a_1, \lambda_1, c_1, \rho_1$; второй – высокотеплопроводный с ТФС: $a_2, \lambda_2, c_2, \rho_2$. Размеры по длине и ширине исследуемого тела: L_1 и L_2 . Толщина первого слоя – h_1 , второго – h_2 . Температура в точке контроля измеряется с помощью ТП.

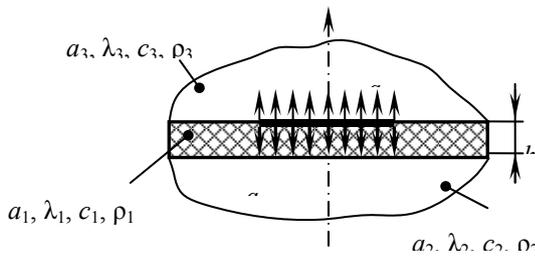


Рис. 3. Тепловая схема

На протяжении всего процесса нагрева на свободной поверхности пластины (при $x = 0$) действует постоянный тепловой поток $q = \text{const}$. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию ($q = 0$).

В математическом виде задача записывается следующим образом:

$$\frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, 0 < x < h_1; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, h_1 < x < \infty; \quad (2)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = 0; \quad (3)$$

$$T_1(h_1, \tau) = T_2(h_1, \tau); \quad (4)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(h_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(h_1, \tau)}{\partial x}; \quad (5)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = q; \quad (6)$$

$$T_2(\infty, \tau) = 0. \quad (7)$$

где $T_1(x, \tau)$, $T_2(x, \tau)$ – температурные поля покрытия и основания в точках с координатами x в моменты времени τ ; q – тепловой поток, подводимый к свободной поверхности пластины.

При больших τ решение задачи (1) – (7) имеет вид:

$$T_1(0, \tau) = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2} + \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \frac{qh_1}{\lambda_1}. \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой линейную зависимость вида:

$$T(0, \tau) = b_1 \sqrt{\tau} + b_0, \text{ где } b_1 = \frac{2q}{\sqrt{\pi} \varepsilon_2}.$$

Объект исследования – двухслойное тело, первый слой которого низкотеплопроводный, а второй – высокотеплопроводный, т.е. $\lambda_1 \ll \lambda_2$, тогда $\varepsilon_1 \ll \varepsilon_2$.

Следовательно,

$$b_0 = \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \cdot \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1} \approx \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}. \quad (9)$$

Из выражения (9) следует, что $h_1 = \frac{\lambda_1 \cdot b_0}{q}$. (10)

Из выражения (10) можно определить толщину первого слоя h_1 . Если известна толщина покрытия h_1 , то можно определить ТФС или выявить наличие дефекта покрытия по температурному отклику.

Список использованной литературы

1. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий. / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова // Монография. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

2. Разработка метода и измерительной системы неразрушающего контроля качества двухслойных изделий / Пудовкина Е.В. // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов: Сборник научных работ: в 2 т. Том 2. – Белгород: Изд-во ООО «ГиК» – 2011. – С. 333 – 347.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА НА ОСНОВЕ AVR МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Рогожин К.В.¹, Тригуб М.В.^{1,2}

Научный руководитель: Тригуб М.В., ассистент каф. ПМЭ

¹Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

E-mail: krkirillrv@gmail.com

Визуализация быстротекущих процессов, в том числе экранированных от наблюдателя мощной фоновой засветкой, является актуальной задачей. Такие процессы протекают в зонах взаимодействия мощных потоков энергии с веществом: лазерная обработка материалов, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, облучение биотканей, процессы в плазме разрядов и т.д. Наблюдение подобных процессов проводят с использованием лазерной подсветки, либо с помощью активных оптических систем – лазерных мониторов или лазерных проекционных микроскопов на основе высокочастотных лазеров на парах металлов, в частности, CuBr-лазеров [1].

В работе [2] представлен лазерный монитор, в котором регистрирующая аппаратура и оптический усилитель работали асинхронно. Такой режим работы приводит к снижению временного разрешения системы (т. к. скорость съемки ниже частоты следования импульсов усилителя), и искажению получаемого изображения за счет того, что изображение каждого кадра формируется несколькими импульсами сверхсветимости лазерного усилителя, попадающими в экспозицию. Для устранения этого недостатка, в работе [3] был представлен лазерный монитор с покадровой регистрацией изображения. Подобный режим работы представлен впервые и реализован за счет применения системы синхронизации лазерного усилителя и регистрирующей аппаратуры.

Для определения временных интервалов синхроимпульсов, поступающих на вход скоростной камеры, необходимо учитывать ряд параметров. Формирование синхроимпульса необходимо производить до импульса генерации лазера, т.к. задержка между импульсом управления (являющимся входным для системы синхронизации) и импульсом генерации лазера может быть любой и определяется особенностями схемы. К тому же, длительность импульса генерации (сверхсветимость) составляет 40-60 нс, что требует точного позиционирования момента открытия затвора. Так же необходимо учесть задержку отклика камеры на запускающий импульс, которая зависит от типа камеры (типовое значение до 1 мкс). Важно учитывать наличие высокочастотных помех, создаваемых источником накачки оптического усилителя и обеспечить его развязку с системой регистрации.

С технической точки зрения, схема формирования импульсов представляет собой управляемый одновибратор, вырабатывающий синхроимпульс с требуемыми задержками, который поступает на

вход внешнего запуска скоростной камеры. В качестве опорного сигнала используется импульс управления источником накачки, гальванически развязанный с помощью оптоволокну. Деление частоты позволяет варьировать скорость съемки в широких пределах без изменения частоты работы оптического усилителя.

Разные усилители яркости характеризуются различной задержкой между импульсом, поступающим с системы управления, и импульсом генерации. Поэтому возникает необходимость формировать синхроимпульс с различной задержкой относительно входного, без изменения топологии схемы.

Для решения данной задачи представлена система синхронизации лазерного монитора, обеспечивающая корректную работу, без калибровки на любых усилителях яркости и различных камерах за счет программного изменения временных интервалов. Структурная схема остается без изменений, но в качестве формирователя импульса используется микроконтроллер. Это позволяет сделать систему с изменяемыми параметрами синхроимпульса: частота, длительность импульса, задержка относительно запускающего импульса.

Главной частью данной системы является микроконтроллер семейства AVR ATmega16A, с тактовой частотой контроллера 16МГц.

Высокая скорость работы контроллера позволяет генерировать синхроимпульс со стабильными временными параметрами. Алгоритм программы написан на языке Assembler, что так же позволяет, увеличит точность всех временных интервалов, и обеспечивает эффективную работу непосредственно с аппаратными частями микроконтроллера. Для сдвига синхроимпульсов используется потенциометр и встроенный АЦП, это позволяет плавно менять его величину.

Отображение всей информации о параметрах входного и выходного сигнала производится на двух строчном шестнадцати символьном алфавитно-графическом LCD дисплее, это даёт возможность оценить момент генерации лазерного излучения.

Отображаемые параметры:

- Частота входного сигнала (с точностью 0,001% позволяет измерять частоту от 0 до 65кГц)
- Величина делителя (1,2,4,6,8,10-кратность частоты входного сигнала, варьирование скорость съемки)

Установка параметров генерации осуществляется с помощью нескольких клавиш и потенциометра. Параметры для установки:

- Величина делителя (позволяет варьировать скорость съёмки путем деления частоты следующих импульсов оптического усилителя)
- Выбор длительности синхроимпульса (позволяет менять скважность сигнала)
- Возможность варьировать запуск синхроимпульса (даёт возможность сдвига выходного сигнала на весь период следования входного импульса)
- Кнопка включения частотомера (позволяет наблюдать изменение частоты входного сигнала)
- Кнопка стоп (остановка генерации, параметры генерации сохраняются)

Данная система позволяет получать синхроимпульс и сдвигать его на всём периоде импульса накачки с варьруемой длительностью. Плавная регулировка времени задержки предоставляет возможность точно подстроить время включения камеры с моментом генерации лазерного излучения. Установка делителя позволяет изменять скорость съёмки скоростного регистратора.

В работе используется малогабаритный усилитель яркости на основе CuVg-лазера с полупроводниковым источником накачки. Частота следования импульсов составляет 21,29 кГц, длительность импульса сверхсветимости 40 нс. В качестве регистратора используется скоростная камера Fastec HiSpec 1, способная производить съёмку со скоростью до 100000 кадров/сек. На рис.1 (а, б) представлены осциллограммы синхроимпульса, импульса сверхсветимости и запускающий импульс (запуск полупроводникового источника накачки), при различной скорости съёмки. Видно, что при использовании системы синхронизации (рис.1.а) в каждый импульс накачки лазера попадает один импульс сверхсветимости лазерного усилителя длительностью 40 нс.

Для уменьшения частоты съёмки в n раз, необходимо установить делитель, в соответствующее значение. При установке делителя, равного двум, частота синхроимпульсов уменьшилась в два раза (рис.1.б), тем самым, уменьшая частоту съёмки камеры.

Временной сдвиг относительно импульса управления позволяет точно фазировать время включения камеры с моментом генерации лазера.



рис.1 Осциллограммы работы лазерного монитора при различной частоте съёмки

Таким образом, представленная система, даёт возможность управлять частотой съёмки камеры, позволяет регулировать сдвиг синхроимпульса относительно импульса управления, что даёт возможность, использовать представленную систему с различными типами усилителей яркости и различными фоторегистраторами.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

Литература:

1. Тригуб М.В., Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Торгаев С.Н. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 141–146.
2. Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жарёнова С.В., Климовский И.И., Прокошев В.Г., Шаманская Е.Л. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекло- и пироуглерода // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97–101.
3. Тригуб М. В. , Евтушенко Г. С. , Губарев Ф. А., Торгаев С. Н. Лазерный монитор с возможностью покадровой регистрации изображений // Контроль. Диагностика. - 2011, Вып. Специальный - С. 140-143.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «СИНИЙ СВЕТОДИОД-ЛЮМИНОФОР»

Роденко О.Л., Мошкина А.В.

Научный руководитель: Смирнов С.В., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40
E-mail: olga.rodenko@gmail.com

Изготовление белых светодиодов – одно из перспективных направлений в современной светотехнике. В настоящее время в мире на освещение используется 21% всей потребляемой электроэнергии. Использование новых источников света (белых светодиодов) позволит значительно понизить потребление электрической энергии, используемой на освещение. Значения световой отдачи белых светодиодов сегодня достигли значений порядка 80 лм/Вт в промышленности и 150 лм/Вт – в исследовательских лабораториях.

В настоящее время самым эффективным и экономичным способом является метод получения белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора. Эффективность белых светодиодов, полученных этим методом, в значительной мере определяется параметрами люминофорных преобразователей спектров светодиодов. Цветовые характеристики системы «синий светодиод-люминофор» определяются четырьмя параметрами: спектром люминесценции люминофора, длиной волны синего светодиода (обычно 455 нм), концентрацией порошка люминофора в люминофорной суспензии и толщиной пленки суспензии. Оптимальными параметрами являются такие параметры, при которых координаты цветности системы «синий светодиод-люминофор» максимально близко приближаются к координатам цветности белого света. В связи с тем, что цвет объекта зависит и от его собственных спектральных свойств, и от характера освещения, в технике стандартизуют наиболее распространённые источники света прежде всего по цветовой температуре. Наиболее «чистый» белый свет, не имеющий ярко выраженных оттенков, соответствует значениям 5000 К. Примерно этого значения придерживаются в качестве стандарта.

В данной работе были исследованы шесть образцов люминофоров: 5 образцов ФЛЖ-7-11 (производство Россия) и 1 образец АWB-3 (производство Тайвань) различной толщины (таблица 1). На рисунке 1 представлены спектры пропускания излучения от мощного источника (лампа белого света), полученные на УФ-спектрометре USB-2000.

Таблица 1. Исследуемые образцы люминофоров

Образец	Толщина, мкм
ФЛЖ-7-11 4-1	296
ФЛЖ-7-11 4-2	175
ФЛЖ-7-11 4-5	86
ФЛЖ-7-11 4-6	440
ФЛЖ-7-11 4-7	558
АWB-3	210

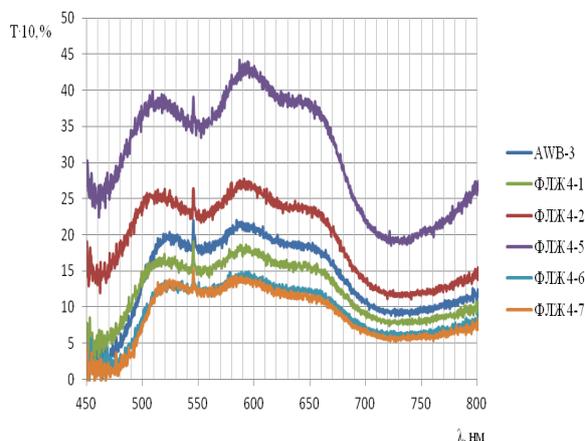


Рис. 1. Спектры пропускания света от мощного источника излучения

Коэффициент пропускания люминофора увеличивается при уменьшении его толщины, что видно из рисунка 1. То есть, чем меньше толщина люминофора, тем больше синего света проходит сквозь люминофор.

Далее была исследована система синий светодиод-люминофор. Для этого была смонтирована установка так, чтобы излучение синего светодиода попадало на люминофор. Излучение белого света, фиксированное спектрометром, является суммой синего света светодиода и излучения люминофора в желто-красной области, возбуждаемого светодиодом. Полученные спектры излучения образцов, возбуждаемых синим светодиодом фирмы KnightBright (Тайвань) приведены на рисунке 2.

В спектре излучения ФЛЖ 4-1 отчетливо видны две части: широкий пик в области 450-500 нм – излучение синего света светодиода; и часть в области длин волн 500-650 нм – излучение люминофора. От соотношения этих частей зависит цветовая температура – важнейшая характеристика излучения. Люминофор имеет максимум в спектре люминесценции при 580-680 нм с полушириной полосы излучения 120-140 нм и при смешивании с излучением светодиода дает белый свет с цветовой температурой 4000-5000 К. С помощью цветовой диаграммы МКО и функций согласования цвета из спектров излучения системы «синий светодиод-люминофор» рассчитаны цветовые температуры излучения образцов.

Таким образом, излучение образца 4-1 имеет наиболее ярко выраженный пик на длине волны синего света, и 4-1 имеет меньшую толщину, чем образцы 4-6 и 4-7. В свою очередь в спектрах этих

образцов преобладает излучение в желто-красной области, то есть преимущественно излучение люминофора.

Сопоставив спектры излучения и значения цветовой температуры, можно заметить, что чем интенсивнее пик в синей области, тем больше значение цветовой температуры, следовательно, тем холоднее свет.

Оптимальное значение цветовой температуры, к которому стремятся изготовители белых светодиодов, находится в диапазоне нейтрального белого света (4000÷5000) К. Таким образом, наиболее приближено к нейтральному белому свету излучение образцов 4-7, 4-6 и АWB-3.

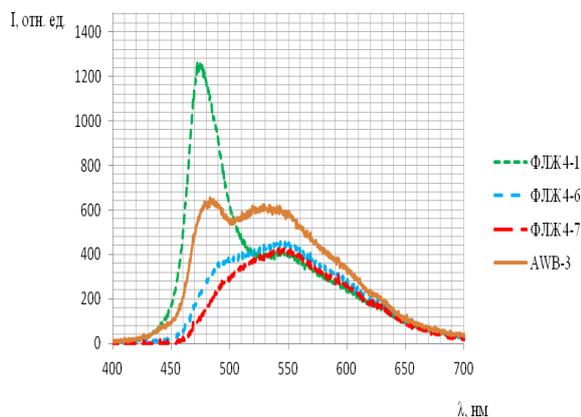


Рис. 2. Спектры излучения системы синий светодиод-люминофор

Таблица 2. Значения цветовой температуры излучения образцов

Образец	Цветовая температура, К
ФЛЖ 4-1	8822
ФЛЖ 4-6	4707
ФЛЖ 4-7	4395
АWB-3	5662

Также были получены спектры излучения образцов, возбуждаемых с помощью излучающего синий свет светодиода большой мощности «Техас» с длиной волны в максимуме 455 нм. Данные спектры содержат только излучение люминофора без излучения светодиода. Измерения осуществлялись на «просвет», то есть при прохождении синего света светодиода сквозь слой люминофора, нанесенного тонким слоем в 20-50 мкм на поверхность стекла. Напряжение на светодиоде составляло 3,62 В, ток 200 мА. Спектры люминесценции приведены на рисунке 3. Наличие нескольких мак-

симумов в спектр свидетельствует о неоднородности состава иттрий-гадолиниевого граната.

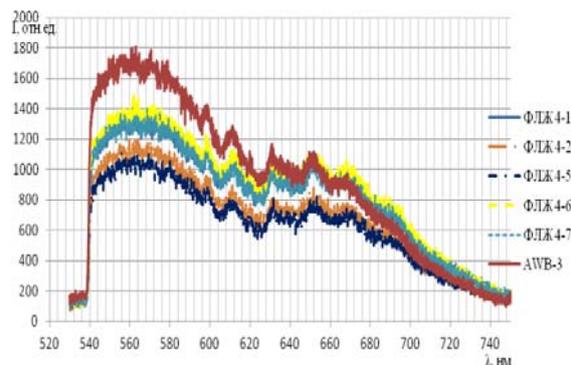


Рис. 3. Спектры излучения образцов, возбуждаемых синим светом светодиода

Из рисунка 3 видно, что с уменьшением толщины слоя люминофора уменьшается интенсивность его излучения. Также можно заметить, что образец АWB-3 имеет намного большую интенсивность излучения при толщине 210 мкм. Это объясняется тем, что люминофоры марок ФЛЖ-7-11 и АWB-3 имеют различную концентрацию порошка люминофора. Очевидно, что в АWB-3 концентрация больше.

Сделаны следующие выводы:

1) При уменьшении толщины слоя люминофора коэффициент пропускания увеличивается. Коэффициент пропускания образца толщиной 86 мкм составляет 3,7% на длине волны 525 нм; образца толщиной 558 мкм – 1,25% на той же длине волны.

2) С уменьшением толщины слоя люминофора возрастает цветовая температура излучения системы синий светодиод-люминофор: у образца толщиной 296 мкм цветовая температура излучения составляет 8822 К; у образца с толщиной 558 мкм – 4395 К.

3) Интенсивность излучения люминофора, возбуждаемого синим светодиодом, уменьшается с уменьшением толщины слоя люминофора.

Список литературы:

1. Шуберт Ф. Светодиоды. - М.: Физматлит, 2008. - 496 с.
2. P. Bugno Characterization and reliability of blue and white GaN-based LEDs submitted to current and thermal stress. - Anno Academico, 2010. – P. 105.

МАГНИТНЫЙ ИНКЛИНОМЕТР

Савкин Д.О.

Научный руководитель: Гурин Л.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: Dima-savkin@sibmail.com

Инклинометр - прибор, с помощью которого измеряются зенитный угол и азимут в отдельных точках ствола скважины [1] (рисунок 1).

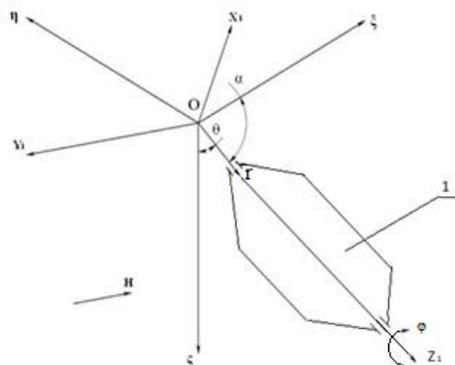


Рис. 1. Принципиальная схема определения азимута α , зенитного угла θ и угла поворота инклинометра ϕ : 1 – корпус инклинометра

Система координат $O\xi\eta\zeta$ - прямоугольная декартова правая система координат, где ось ξ представляет собой касательную к магнитному меридиану в направлении магнитного севера, ось η , перпендикулярная к оси ξ , направлена в сторону магнитного востока и ось ζ направлена в сторону действия вектора силы тяжести. Система координат $OX_1Y_1Z_1$ - прямоугольная система координат, связанная с корпусом инклинометра. Одна ось системы координат направлена вдоль продольной оси прибора, то есть по направлению вектора r , в сторону забоя (ось Z_1). Две другие взаимно перпендикулярные оси X_1 и Y_1 лежат так, что получается правая система координат, жестко связанная с корпусом инклинометра. Таким образом зенитный угол θ - угол между осью ζ и вектором r (вектор r характеризуется направлением оси скважины), азимут α - угол между плоскостью магнитного меридиана в точке замера и апсидальной плоскостью, угол поворота инклинометра ϕ - угол между главной полуплоскостью инклинометра и апсидальной плоскостью. Апсидальная плоскость - вертикальная плоскость, положение которой определяется двумя лежащими в ней прямыми: осью ζ и вектором r . Плоскость магнитного меридиана - вертикальная плоскость, проходящая через магнитный меридиан, то есть плоскость $\xi\zeta$. Главная полуплоскость инклинометра - одна из диаметральных полуплоскостей корпуса инклинометра, проходящая через оси X_1 и Z_1 .

Инклинометры осуществляют измерение первичной скважинной информации, ее преобразование, передачу по каналу связи наземному устройству, обработку и представление оператору результатов

обработки для управления процессом измерения или бурения. Инклинометр состоит из скважинного прибора (СП) и наземного устройства (НУ) обработки и отображения данных. В качестве канала связи используется или специально разработанное для передачи информации оборудование (например, каротажный кабель и подъемник) или оборудование которое используется в буровом процессе (например, токопровод электробура, колонна буровых труб) [2].

Для определения зенитного угла θ инклинометры должны иметь гравитационные датчики, позволяющие найти положение продольной оси прибора относительно вертикали, т.е. направление вектора силы тяжести.

Гравитационные датчики, используемые в инклинометрах, можно условно разбить на две группы [1]. Первая группа включает датчики, которые дают информацию о направлении вектора силы тяжести. К ним относятся различные виды физического маятника, поплавковые конструкции, где поплавки со смещенным центром тяжести находятся в жидкости или в ином подвесе; датчики с твердым шариком на вогнутой поверхности и с воздушным пузырьком под сферической вогнутой поверхностью, заполненной жидкостью. Вторая группа датчиков реагирует на величину ускорения, в частности, ускорения свободного падения. Это так называемые акселерометры.

Точность датчиков, во многом зависит от точности ориентации рамок. На величину угловой ошибки установки рамок влияют устанавливающий момент от эксцентричного груза и момент сил сухого трения в опорах подвеса. Однако акселерометры лишены этой погрешности, так как датчики жестко закреплены непосредственно в корпусе. Таким образом, для увеличения точности съема показаний используются акселерометры.

Три одномерных ортогонально расположенных в корпусе инклинометра акселерометра дают необходимую информацию о зенитном угле и угле поворота инклинометра [1]. Переход от системы координат $OX_1Y_1Z_1$ к системе $O\xi\eta\zeta$ определяется следующим матричным соотношением:

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = D \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где D - матрица направляющих косинусов системы $O\xi\eta\zeta$ относительно системы $OX_1Y_1Z_1$.

В системе координат $O\xi\eta\zeta$ составляющие вектора силы тяжести по координатным осям $O\xi$ и $O\eta$ равны нулю, а по оси $O\zeta$ составляющая равна P :

$$\begin{pmatrix} P_\xi \\ P_\eta \\ P_\zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ P \end{pmatrix}.$$

Используя (1), получаем:

$$\begin{pmatrix} P_{x1} \\ P_{y1} \\ P_{z1} \end{pmatrix} = D_T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ P \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где D_T – транспонированная матрица D .

Подставив в формулу (2) выражение D_T определим составляющие вектора силы тяжести P по координатным осям OX_1, OY_1, OZ_1 :

$$\begin{pmatrix} P_{x1} \\ P_{y1} \\ P_{z1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P \sin\theta \cos\varphi \\ P \sin\theta \sin\varphi \\ P \cos\theta \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Оси чувствительности акселерометров расположены вдоль осей OX_1, OY_1, OZ_1 . Тогда выходные сигналы акселерометров будут пропорциональны составляющим вектора силы тяжести по указанным координатным осям, т.е. P_{x1}, P_{y1}, P_{z1} , определяемым из уравнения (3). Получаем следующие выражения для вычисления зенитного угла θ и угла поворота инклинометра φ :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= P_{y1}/P_{x1}, \\ \operatorname{tg}\theta &= \sqrt{(P_{x1}/P_{z1})^2 + (P_{y1}/P_{z1})^2}. \end{aligned}$$

Для определения азимута α используются датчики магнитного поля [1]. Данные виды датчиков классифицируются по принципу использования в них того или иного физического явления: магнитомеханические, индукционные, гальваномеханические, и др. В инклинометрии наиболее распространены магнитомеханические и индукционные преобразователи. Трудности электрического съема сигнала с магнитомеханических преобразователей, а также их сложность реализации, привели к необходимости использования индукционных преобразователей, в частности феррозондов. Возможность непосредственного преобразования параметров магнитного поля в электрический сигнал и отсутствие подвижных частей наряду с небольшими габаритами феррозондов, обусловили перспективность из использования в инклинометрах поскольку при этом значительно упрощается конструкция датчика азимута, обеспечивается возможность работы в условиях вибраций, повышается надежность датчика. Три одномерных ортогонально расположенных в корпусе инклинометра феррозонда дают необходимую информацию о азимуте α .

Оси чувствительности феррозондов направлены вдоль осей OX_1, OY_1, OZ_1 . \vec{H} – вектор напряженности магнитного поля Земли (рисунок 1). H_ξ, H_η, H_ζ – проекции вектора \vec{H} на $O\xi, O\eta, O\zeta$ Тогда получаем:

$$\begin{pmatrix} H_{x1} \\ H_{y1} \\ H_{z1} \end{pmatrix} = D_T \begin{pmatrix} H_\xi \\ H_\eta \\ H_\zeta \end{pmatrix}.$$

После подстановки $t_{x1} = H_{x1}/H_\xi$; $t_{y1} = H_{y1}/H_\xi$; $t_{z1} = H_{z1}/H_\xi$ получаем:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{t_{y1} \sin\varphi - t_{z1} \cos\varphi}{t_{x1} \cos\theta + t_{y1} \cos\theta \sin\varphi - t_{z1} \sin\theta} \right).$$

Выходные сигналы феррозондов обозначим как a_{x1}, a_{y1}, a_{z1} , то выражение (7) примет вид:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{a_{y1} \sin\varphi - a_{z1} \cos\varphi}{a_{x1} \cos\theta + a_{y1} \cos\theta \sin\varphi - a_{z1} \sin\theta} \right).$$

Таким образом получаем кинематическую схему инклинометра (рисунок 2), обладающая высокой точностью и малыми массогабаритными показателями.

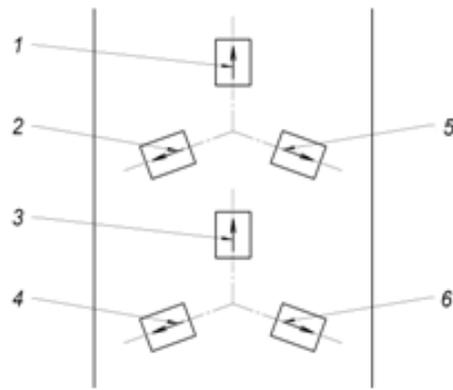


Рис. 2. Кинематическая схема инклинометра с жестко – закрепленными акселерометрическими и магнитометрическими датчиками и подвижной рамкой:

1,2 и 5 – триада ортогональных магнитометрических датчиков (феррозондов);

3,4 и 6 – триада ортогональных акселерометрических датчиков

Триада одномерных ортогонально расположенных в корпусе инклинометра акселерометра 3,4 и 8 дают необходимую информацию о зенитном угле. Триада жестко закрепленных ортогональных магнитометрических датчиков (феррозонды) 1, 2, 9 дают информацию о азимуте.

Список литературы

1. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987. – 216 с.
2. Авторское свидетельство №1437811. Цифровой феррозондовый магнитометр / Штеренгарц Е.М., Загурский А.С., Пустовалов Н.Д. опубл. в Б.И. 1986, №42

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ COMPACT FIELDPOINT

Салих А.И.

Научный руководитель: Казаков В.Ю., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: soran_17@sibmail.com

Введение

Во многих отраслях современной промышленности необходим контроль за уровнем и расходом жидкостей. Так на одном из производств города Томска возникла потребность в автоматизации процесса контроля уровня жидкости одновременно в нескольких резервуарах, расположенных в разных производственных цехах. Данные об уровнях жидкостей являются одним из факторов, влияющих на качество продукции, следовательно, система должна непрерывно и с высокой точностью измерять их значения и сигнализировать о превышении критического отметок.

Была поставлена задача разработать прототип автоматизированной измерительной системы (АИС), главной целью которой является непрерывное измерение уровней жидкостей в нескольких десятках резервуарах различных объемов. Так как резервуары находятся на расстоянии нескольких сотен метров друг от друга, система должна обеспечивать обмен данными между датчиками и контроллером, обработку измерительной информации и ее передачу на хост-компьютер в требуемом для пользователя формате. Для решения данной задачи была выбрана платформа «Compact FieldPoint» фирмы National Instruments, преимуществами которого является возможность непрерывного многоканального сбора и обработки данных, а также ударопрочное исполнение и высокая устойчивость к помехам.

Особенностью поставленной задачи является необходимость бесконтактного измерения уровня жидкости, вследствие чего при проектировании АИС был выбран ультразвуковой метод измерений. В перспективе необходимо обеспечить сбор данных об уровне с 32 измерительных каналов одновременно.

Автоматизированная система измерений уровня жидкости на основе магистрально-модульной платформы Compact FieldPoint

В рамках описанной задачи был разработан прототип автоматизированной системы измерений уровня жидкостей на основе магистрально-модульной платформы Compact FieldPoint. АИС предназначена для:

- измерений уровня жидких сред – как в открытых, так и в закрытых резервуарах без непосредственного контакта с измеряемой средой;
- измерений объема жидкостей в резервуарах;
- измерений температуры окружающей среды;

- отображение и хранение результатов измерений и расчетов на экране монитора компьютера.

Структурная схема АИС представлена на рисунке 1.

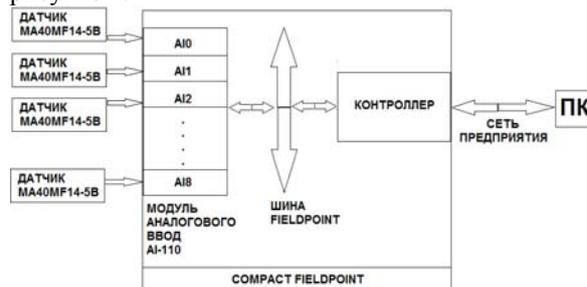


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы измерений уровня жидкостей на основе магистрально-модульной платформы Compact FieldPoint

АИС состоит из датчиков, измерительных модулей и контроллера реального времени.

В качестве измерительного преобразователя используется ультразвуковой приемник/передатчик MA40MF14-5B производства Murata Manufacturing. Датчик отличается компактностью и высокой чувствительностью. Номинальная частота 40 КГц, диапазон детектирования от 0,2 до 1,5 м, чувствительность 9 мм. Преобразователи серии MA40 представлены линейкой датчиков с различными диапазонами [1].

Принцип действия измерительного преобразователя основан на импульсном ультразвуковом зондировании резервуара с жидкостью и определении уровня жидкости по интервалу времени между моментом излучения импульса и моментом регистрации преобразователем ультразвуковым отраженной от границы раздела двух сред ультразвуковой волны.

Внешний вид датчика MA40MF14-5B представлен на рисунке 2.

Основной АИС является магистрально-модульная платформа Compact FieldPoint на базе шины FieldPoint, к которой подключается контроллер реального времени и различные модули.



Рис. 2. Ультразвуковой приемник/передатчик MA40MF14-5B

Платформа Compact FieldPoint изображена на рисунке 3. При построении АИС используется платформа cFP-2220, его основные характеристики:

- встроены контроллер, работающий под управлением операционной системы LabVIEW Real-Time, выполняющий функции сбора и обработки данных;
- промышленное исполнение корпуса, условия эксплуатации которого от минус 40 до 70 °С;
- один порт RS485 и три порта RS232 для подключения периферийных устройств;
- 400 МГц процессор реального времени с памятью 256 Мб SDRAM;
- 2 Ethernet порта для связи распределенных систем реального времени;
- модуль аналогового ввода AI-110, термомпарный модуль TC-120, модуль цифрового ввода DI-330, модуль цифрового вывода DO-400 [2].



Рис. 3 Платформа Compact FieldPoint

Результаты измерений времени прохождения ультразвуковой волны поступают с датчика на вход модуля аналогового ввода платформы Compact FieldPoint в виде унифицированного токового сигнала (4-20) мА, далее сигнал оцифровывается, цифровой код поступает в память контроллера. Значения уровня жидкостей, выраженные в м, вычисляются на основании данных о времени прохождения ультразвуковой волны. На основе данных об уровне жидкостей, вычисляется их объем,

выраженный в м². Значения температуры окружающей среды, выраженные в °С, поступают в память компьютера с термомпары. Полученные значения уровня, объема жидкостей и температуры окружающей среды передаются на персональный компьютер с помощью протокола Ethernet, отображаются на экране монитора компьютера с возможностью сохранения результатов измерений.

Необходимыми для обеспечения работоспособности системы программными компонентами являются LabVIEW RT и драйвер NI-FieldPoint. Программное обеспечение АИС включает себя программу-сервер, осуществляющую непрерывный сбор данных с модулей платформы, расчет значений уровня и объема жидкостей и передачу их по протоколу TCP/IP, и программу-клиент, предназначенную для настройки процесса сбора данных пользователем, вывода результатов измерений на экран монитора компьютера и сохранения в файл.

Лицевая панель приложения программы-клиента представлена на рисунке 4.

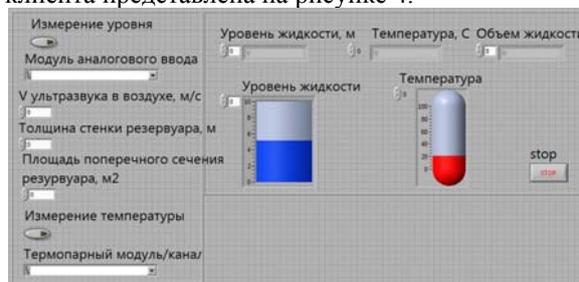


Рис. 4. Лицевая панель программы-клиента

Заключение

В данном докладе приведены аппаратные и программные особенности разработанного прототипа автоматизированной системы измерений уровня жидкости на основе платформы Compact FieldPoint. Особенностью представленной системы является возможность наращивания количества измерительных каналов до 32. Данная система обеспечивает бесконтактные измерения уровня, возможность измерений уровня в загрязненных средах, независимость от плотности жидкости, высокую точность измерений. В дальнейшем планируется обеспечить систему возможностью сигнализации превышения предельного уровня жидкости.

Список литературы

- 1 MA40MF14-5B, ультразвуковой приемник / передатчик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chipdip.ru/product/ma40mf14-5b.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.
- 2 NI cFP-2220 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/204805>, свободный. – Загл. с экрана.

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННЕПРИСУЩИХ ПРИЗНАКОВ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Седнев Д.А.

Научные руководители: Демянюк Д.Г., к.т.н., доцент
Кренинг Х.-М., д.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: sednev@tpu.com

Российская Федерация выступает за непрерывное совершенствование существующих методов контроля и разработку новых, так как развитие атомной отрасли является одной из приоритетных задач России. Для обеспечения сохранности ядерных материалов и обеспечения безопасного использования атомной энергии на объектах ядерно-топливного цикла обеспечены меры физической защиты, а так же функционирует система государственного учета и контроля ядерных материалов. Инициативы в данной области поддерживаются во исполнение указа Президента РФ №899 от 7 июля 2011 года, которым были утверждены восемь приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, в число которых входят «Безопасность и противодействие терроризму» и «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Основными задачами системы учета и контроля ЯМ являются: сохранение достоверности учетных данных о ЯМ и обнаружение несанкционированного доступа к ЯМ.[1] Классически используются тросовые, болтовые, замковые, проволочные, ленточные, пленочные и комбинированные ЗПУ. Но нельзя исключить человеческий фактор при производстве ЗПУ подобного типа, существует вероятность кражи ЗПУ, возможность клонировать ЗПУ для последующей кражи ЯМ и т.д. Согласно Рекомендациям по применению систем пломбирования в организациях Госкорпорации «Росатом» для целей учета и контроля ядерных материалов «отсутствуют официальные данные о пломбировочных устройствах, которые невозможно подделать».[2]

В работе проведена серия экспериментов, целью которых является разработка методики идентификации материала по внутреннеприсущему признаку для решения задач учета и контроля. Внутреннеприсущий признак основан на природных свойствах материала, которые невозможно подделать на данном этапе научно-технического прогресса.

Для разработки методики идентификации внутренне-присущих признаков материала был создан экспериментальный комплекс на основе промышленного ультразвукового дефектоскопа УСД – 60. (Рис.1)



Рисунок 1 – Экспериментальный комплекс.

Для проведения эксперимента к дефектоскопу был подключен стандартный наклонный датчик Olympus Panametrics. Выбор наклонного типа датчика был обусловлен более длинным путем звуковой волны в материале, что позволяет получить большее количество данных, избегая шумов от датчика в начальной фазе измерения и донного сигнала в конечной фазе. [3]

Эксперимент был поставлен на трех образцах размером 100 мм на 100 мм. Толщина равна 8, 10 и 12 мм. Каждый образец представляет собой две стальные пластины, соединенные с помощью сварного шва.

На каждом образце сварной шов был срезан на 4 см от края, для обеспечения акустического контакта, необходимого для проведения измерений. На образцах толщиной 10 и 12 мм была произведена полировка места среза для исследования зависимости стабильности получаемых данных от качества исследуемой поверхности.

Для подтверждения достоверности проводимого эксперимента было выбрано 9 различных точек измерения на 3-х образцах.

В каждой точке было сделано 50 измерений. Точность позиции корректировалась с помощью направляющей конструкции

При проведении эксперимента, для исключения изменений во внутреннюю структуру сварного шва с внешней или внутренней стороны, была выбрана контролируемая «Область интереса» (Рис. 2) Она была выбрана за 2 мм до внутренней поверхности образца.

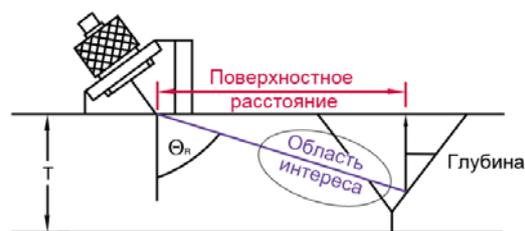


Рисунок 2 – Область интереса при исследовании акустических шумов

Для снятия сигнала с дефектоскопа и его последующей обработки использовался набор стандартного программного обеспечения. При разработке методики эксперимента был изучен опыт определения уникального признака, который используется в одной из самых надежных систем идентификации – биометрии. Анализ обработки графических сигналов для задач идентификации был изучен на примере дактилоскопии. После снятия отпечатка пальца в виде графического изображения, происходит оцифровка и анализ исходных данных. Затем выделяются характерные точки, называемые “минутцы” и на их основе строится эталонный образец. При последующей аутентификации контрольный отпечаток проходит через те же этапы обработки и анализа. В дальнейшем производится сравнение выделенных “минутцы” с порог идентичности характерных точек равным 65%. Этот порог был взят за отсчетную точку при разработке и тестировании методики

Для исследования выбран RF сигнал (радиосигнал,) в режиме А развертки, как предоставляющий возможность получать данные в их реальном виде, аналогично экрану осциллографа (Рис. 3)

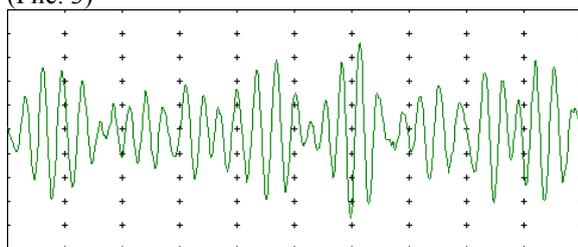


Рисунок 3 – Пример RF сигнала

Были получены 50 изображений радиоволнового сигнала в формате portable network graphics (png) с каждой из 9 исследуемых точек. Анализ данных полученных с исследуемых точек показал, что полученные акустические шумы уникальны для каждой точки

Для последующей обработки сигнала графические данные были преобразованы в массив чисел описывающих кривую, находящуюся на изображении. Количество координат точек было усреднено, для минимизации погрешностей при оцифровке начальные и конечные значения были отброшены. В полученных значениях амплитуды произведен поиск пиков. В результате эксперимента установлено, что оптимальное значение количества пиков лежит в промежутке от 38 до 43. Был произведен отбор необходимого количества пиков максимальной амплитуды исследуемой функции.

Полученные пики являются эталонным значением для данной точки измерения и автоматически

описываются соответствующей функцией. Эти данные будут использоваться для подтверждения идентичности сварного соединения.

Для подтверждения идентичности (аутентификации) производится контрольное измерение в точке контроля и для полученных данных проводятся те же шаги, что и при получении эталонного значения, за исключением получения средней величины амплитуды. Осуществляется сравнение полученных данных с эталонным значением. Для этого выполняется деление эталонной функции на контрольную. Результатом операции станут данные различия амплитуды в координате X эталонной функции. Для их оценки требуется установить доверительный интервал таким образом, чтобы учесть максимальное количество совпадающих пиков и минимизировать включение в итоговый результат ложных данных. Опытным путем установлено, что с превышением ширины доверительного интервала в 0,4 единицы количество ложных данных при аутентификации значительно увеличивается. Примем доверительный интервал [0,8 ... 1,2].

Точность совпадения при успешной аутентификации составляет от 72,5% до 87,5. Наиболее часто расхождения с эталоном появляются в начальных и конечных значениях массивов данных. При использовании данных с другой точки измерения точность совпадения лежит в промежутке от 12,5% до 45%. (Рис. 5.16)

Результат, полученный в ходе эксперимента, подтвердил состоятельность применения выбранного сочетания внутреннеприсущего признака и метода контроля. Достигнутые уровни совпадения характерных точек при успешной аутентификации превышают заданный порог в 65% и значительно отличаются от процента совпавших точек при попытке аутентификации с другой контрольной точкой.

Литература:

1. Положение о системе государственного учета и контроля ядерных материалов (в ред. Постановлений Правительства РФ от 22.04.2009 N 351, от 04.02.2011 N 48) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atombroker.ru>, свободный.
2. Рекомендации по применению систем пломбирования в организациях Госкорпорации «Росатом» для целей учета и контроля ядерных материалов.
3. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vniia.ru>, свободный.
4. Yastrebova, O., Kröning, M., Bulavinov, A. Real-time Measurement of Relative Sensor Position Changes using Ultrasonic Signal Evaluation. – Stuttgart : 34. MPA-Seminar, 2008. – 23-29 p.

СКВАЖИННЫЙ ТЕРМОМЕТР-МАНОМЕТР

Семенов М.Ю.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 80
E-mail: tyeff120@mail.ru

Основными параметрами, характеризующие работу скважин, насосных агрегатов, установок по подготовке нефти, газа и воды являются давление и температура. В настоящее время существует множество различных скважинных термометров-манометров, работающих на различных физических принципах[1]. В данной работе приводится описание существующих манометров и термометров.

Принцип действия манометра основан на уравновешивании силы, возникающей под воздействием измеряемого давления, силой упругости, чувствительного элемента прибора.

По принципу действия манометры бывают следующих типов:

- 1 Жидкостные
- 2 Пружинные
- 3 Поршневые
- 4 Электрические

Жидкостные - измеряемое давление уравновешивается давлением столба жидкости, заливаемой в прибор, высота которого и является величиной, определяющей давление. Жидкостные манометры применяют в основном при определении давления в лабораторных условиях и при проверке других манометры. Погрешность измерения U-образных и чашечных манометры (0,5-1,0%) определяется погрешностью самого прибора, ошибкой отсчета показаний и несоответствием действительного и расчетного значений плотности манометрической жидкости. Двухчашечные (компенсационные) микроманометры с верхними пределами измерения до $2,5 \cdot 10^3$ Па имеют погрешность 0,02-0,05%. При малых пределах измерения (до 10^4 Па) манометры заполняют легкими жидкостями (водой, спиртом, толуолом, силиконовым маслом), при увеличении пределов измерения до 10^5 Па - ртутью.

Пружинные – измеряемое давление или разность давлений определяется по деформации упругих чувствительных элементов: трубчатых манометрических пружин, S-образных, винтовых, спиральных; плоских и гофрированных мембран; мембранных коробок; сильфонов; цилиндрических трубок и стаканов. Пределы измерения от 10 до $2,5 \cdot 10^9$ Па. Простота преобразования давления в упругую деформацию чувствительного элемента и большое разнообразие удобных в эксплуатации конструкций обусловили широкое применение деформационных манометры в химической промышленности наиболее распространены так называемые пружинные манометры с одновитковым трубчатым чувствительным элементом.

Поршневые - измеряемое давление уравновешивается весом груза, действующего на поршень оп-

ределенной площади, перемещающийся в цилиндре, заполненном маслом. В этих приборах измеряемое давление, действующее через манометрическую жидкость на поршень манометры, уравновешивается весом поршня и набора калиброванных грузов. Наиболее распространены манометры с неуплотненным поршнем, между которым и цилиндром имеется небольшой зазор. Пространство под поршнем заполнено специальным маслом, которое под давлением поступает в зазор и обеспечивает смазку трущихся поверхностей. При измерении давления для уменьшения трения между цилиндром и поршнем. Последний приводится во вращение электродвигателем или вручную. Приборы отличаются высокой точностью и стабильностью показаний; погрешность от 0,02 до 0,2% от верхнего предела измерения. Для определения небольших избыточных давлений, разрежения, абсолютного и атмосферного давлений применяют манометры специальных конструкций. Грузопоршневые манометры используют, как правило, для проверки манометров других типов и при лабораторных измерениях.

Электрические - используют для измерения давления различные электрические явления, связанные с изменением давления (пьезоэлектричество, изменение сопротивления проводников, емкости и др.). Изменение сопротивления - действие приборов основано на изменении сопротивления проводника под действием внешнего давления. Для использования в манометрах сопротивления наиболее подходящим материалом является манганин, так как он обладает малым температурным коэффициентом сопротивления. Изменение емкости - действие приборов основано на изменении емкости плоского конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Действие пьезоэлектрических манометров основано на свойствах некоторых кристаллических веществ создавать электрические заряды под действием механической силы.

В нефтедобыче наиболее распространены пружинные манометры, где в качестве чувствительного элемента применяют трубчатые пружины, как одновитковые, так и многовитковые. В качестве примера на рис.1 приведена принципиальная схема. Чувствительным элементом является многовитковая пустотелая плоская пружина, заполненная под вакуумом легким маслом. Данный манометр предназначен для измерения давления в добывающих скважинах. При давлении внутри пружины каждый виток разворачивается на некоторый угол вокруг вертикальной оси. Последний верхний виток поворачивается на угол, равный сумме углов поворота всех витков.

Нижний конец пружины сообщается с сильфоном 3, исполняющего роль разделителя жидкостей. Давление скважинной жидкости без потерь передается через сильфон жидкости внутри пружины. Регистрирующая часть состоит из следующих элементов. Часовой механизм 4 приводит во вращательное движение ходовой винт 5, который сообщает регистрирующей каретке 6 равномерное поступательное движение. Поэтому вертикальное перемещение каретки пропорционально времени, истекшему с момента пуска часового механизма на поверхности перед герметизацией прибора.

Все детали манометра, за исключением сильфона, заключены в герметичный корпус 7. Камера, где помещен сильфон, сообщается через отверстие с внешней средой. Также в нижней части прибора в специальной камере помещается термометр для регистрации температуры на забое скважин и внесения температурных поправок в показания манометра.

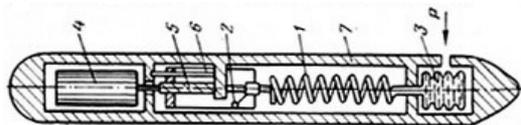


Рис. 1. Пружинный манометр

Приборы для измерения температуры по принципу действия подразделяются на:

- 1 Термометры расширения (стеклянные, манометрические, биметаллические)
- 2 Генерация термо-ЭДС (термопара)
- 3 Инфракрасные термометры
- 4 Термометры сопротивления

Жидкостно-стеклянные термометры представляют собой стеклянную трубку, внутри которой проходит капилляр, заканчивающийся книзу резервуаром, заполненным жидкостью (спирт, ртуть). При изменении температуры рабочая жидкость, расширяясь в резервуаре, поднимается по капилляру вверх тем выше, чем выше измеряемая температура.

Манометрические термометры – представляют собой замкнутую систему, в которую входят: термобаллон, погружаемый в измеряемую среду, капилляр, упругая манометрическая пружина, рычажная система. При погружении термобаллона в измеряемую среду увеличивается (или уменьшается) давление в замкнутой системе, что вызывает деформацию манометрической пружины.

Биметаллические термометры – принцип действия основан на различии коэффициентов линейного расширения металлов.

Термопара представляет собой два проводника из различных металлов, сваренных между собой

на одном из концов. Основанием работы является наличие между ними «электрического эффекта».

Инфракрасные датчики температуры измеряют температуру поверхности на расстоянии. Принцип из работы основан на том, что любое тело при температуре выше абсолютного нуля излучает электромагнитную энергию. При низких температурах это излучение в инфракрасном диапазоне, при высоких температурах часть энергии излучается уже в видимой части спектра. Интенсивность излучения напрямую связана с температурой нагретого объекта. Причем в диапазоне высоких температур инфракрасным датчикам нет конкуренции. Это самые быстродействующие датчики температуры. Возможность измерения температуры движущихся объектов. Измерение высоких температур, там, где другие датчики уже не работают. К достоинствам можно отнести то, что отсутствует непосредственный контакт с объектом.

Термометры сопротивления это резисторы, изготовленные из платины, меди или никеля. Платина чаще всего применяется в термометрах сопротивления, из-за ее высокой стабильности и линейности изменения сопротивления с температурой. Медь используется в основном для измерения низких температур, а никель в недорогих датчиках. Платиновые термометры сопротивления одни из самых точных датчиков температуры.

Для измерения температуры в скважинах применяют термометры сопротивления. Их чувствительным элементом служит медный резистор с большим температурным коэффициентом. Действие термометров основано на свойстве металлического проводника изменять сопротивление R в зависимости от температуры среды, в которой он находится.

Таким образом, рассмотрев различные виды манометров и термометров, можно сделать вывод, что для измерения температуры наиболее перспективен термометр сопротивления, так как он обладает широким диапазоном измеряемой температуры, что очень важно для нас, но и так же имеет высокую точность. Для измерения давления будет использоваться поршневой манометр так как приборы отличаются высокой точностью и стабильностью показаний [2]. Так же при изменении температуры появляется погрешность в измерении давления, с помощью термометра можно будет внести поправки.

Список литературы

- 1 Горев С.М. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности – 2003г. - 264с.
- 2 Мулев Ю.В. Манометры – 2003 г. 278 с.

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ОРИЕНТАЦИИ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ

Сёмкин И.М.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
 пр. Ленина, 30

E-mail: semkin_iv@sibmail.com

Разработка скважинного прибора ведется для реализации метода вертикального сейсмопрофилирования, а именно - многоволновой сейсморазведки [1].

Один из вариантов был предложен институтом геофизики СО РАН и реализован в сейсморазведочной аппаратуре «МОСТ» [2]. В аппаратуре применялся свободный гироскоп с принудительным разворотом узла сейсмоприемников. Данный прибор имел ряд недостатков, что заставило искать новые пути решения задачи.

Другой вариант был реализован на основе применения системы аналитического гирокомпасирования [3]. Данная система обладает двумя особенностями. Первой особенностью зонда является то, что приведение осей чувствительности сейсмоприемников осуществляется не в результате их физического разворота, а путем виртуального разворота этих осей. Вторая особенность – не требуется выставки главной оси гироскопа на истинный север перед спуском в скважину.

Принцип работы такой системы опирается на использование в качестве опорных двух векторов – вектора ускорения силы тяжести, две проекции которого измеряются двумя линейными акселерометрами на основе датчиков типа ДА-11, и вектора угловой скорости вращения Земли, две проекции которого измеряются двухкомпонентным гироскопическим измерителем угловой скорости (ДГИУС), построенным на основе гиродатчика КИНД 05-089.

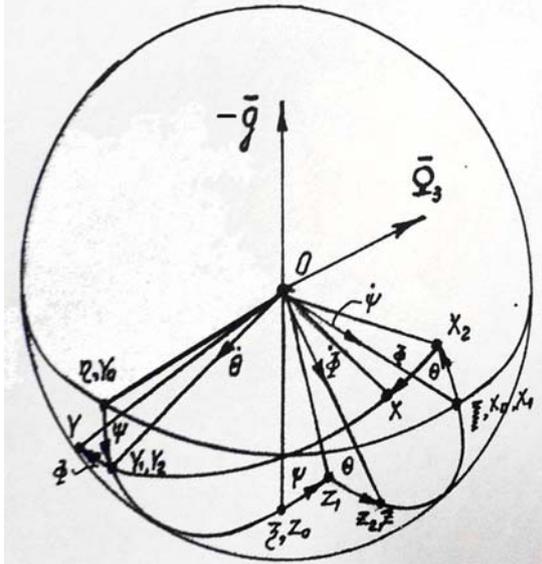


Рис.1 Схема углов конечных поворотов
 Эйлера-Крылова

Выбор параметров ориентации зависит от конечной цели и вида решаемой задачи. Из всех известных в настоящее время способов задания одной СК относительно другой наибольшее распространение получили углы конечных поворотов. Для решения поставленной задачи определения ориентации осей сейсмоприемников были выбраны углы конечных поворотов Эйлера – Крылова (рисунок 1).

Первый поворот - вокруг оси OX_0 на положительный угол ψ ; второй поворот - вокруг оси OY_1 на положительный угол θ ; третий поворот – вокруг оси OZ_2 на положительный угол ϕ .

После всех последовательных поворотов, получим окончательное положение системы координат $OXYZ$ – приборной системы координат.

Практика использования гиродатчика показала наличие ошибки от пуска к пуску. Это означает, что при измерении одной и той же угловой скорости в разных пусках получаются различные значения.

Решением данной проблемы может быть установка гиродатчика на одноосной поворотной платформе, разворачиваемой специальным приводом относительно корпуса на 180° . С помощью ДГИУСа измеряем угловую скорость, затем платформа разворачивает гиродатчик строго на 180° вокруг оси, совпадающей с осью вращения ротора гиродатчика, в плоскости XY приборной СК и повторно снимаем значение. Далее информация обрабатывается с помощью специальных алгоритмов и определяется ориентация сейсмоприемников.

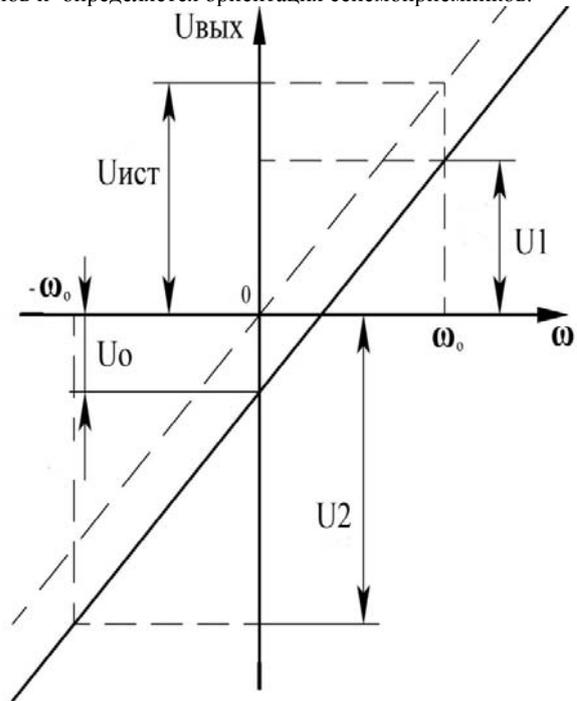


Рис.2 - Характеристика гиродатчика

Теоретическое обоснование метода устранения ошибки от пуска к пуску иллюстрируется рисунком 2. На рисунке 2 жирной сплошной линией показана линейная характеристика гиродатчика, имеющая смещение нуля. Методика устранения смещения нуля заключается в следующем. На вход датчика подается некоторая угловая скорость ω_0 и на выходе снимается первое значение U_1 . Далее гиродатчик разворачивают строго на 180° ; при этом на вход подается такое же значение угловой скорости, только с обратным знаком $-\omega_0$, на выходе

получаем значение U_2 . Истинное значение находим по формуле

$$U_{\text{ист}} = \frac{U_1 + U_2}{2}.$$

В результате проведенных исследований предложен следующий алгоритм вычисления углов ориентации и преобразования сигналов с сейсмоприемников. Промежуточные выкладки опущены.

1. В памяти вычислителя должны храниться значения неизменяемых констант:

$g_0 = 9,7804 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести на экваторе на уровне Мирового океана;

$\Omega_z = 15,04 \text{ град/час}$ – угловая скорость вращения Земли.

Перед началом работы в память вычислителя вводится значение изменяемой константы φ – широты места.

Диапазон изменения константы $\varphi = -70 \text{ град} \div +70 \text{ град}$.

2. Вычисляется величина постоянной g ускорения силы тяжести на данной широте φ

$$g = g_0 + 0.0517 \cdot \sin^2 \varphi.$$

Значение постоянной g вводится в память вычислителя на все время его работы на данной скважине.

3. Снимаются значения ускорений a_x и a_y , измеряемые соответствующими акселерометрами, а также значения угловых скоростей ω_{x1} и ω_{y1} , измеряемые гироскопическим измерителем угловых скорости в первом его положении.

4. Далее с помощью специальной системы производится переориентация гиродатчика на 180° .

5. Снимаются уже новые показания ω_{x2} и ω_{y2} , во втором положении.

6. Показания ДГИУСа сглаживаются аналоговыми фильтрами низких частот. Окончательные угловые скорости как было обосновано выше, находим

$$\tilde{\omega}_x = \frac{\tilde{\omega}_{x1} + \tilde{\omega}_{x2}}{2};$$

$$\tilde{\omega}_y = \frac{\tilde{\omega}_{y1} + \tilde{\omega}_{y2}}{2}.$$

В приведенных формулах символ « \sim » - означает сглаженное значение данной переменной. Значения

$\tilde{a}_x, \tilde{a}_y, \tilde{\omega}_x, \tilde{\omega}_y$ вводятся в оперативно запоминающее устройство (ОЗУ).

7. Вычисляется главное значение угла Φ^*

$$\Phi^* = \arctg \left(\frac{-g \cdot \omega_y - \Omega_z \cdot a_y \cdot \sin \varphi}{g \cdot \omega_x - \Omega_z \cdot a_x \cdot \sin \varphi} \right).$$

Значение параметра вводится в ОЗУ

8. Определяется угол Φ .

$\Phi = \Phi^*$, если $A < 0, B > 0$;

$\Phi = 180^\circ - \Phi^*$, если $A < 0, B < 0$;

$\Phi = 180^\circ + \Phi^*$, если $A > 0, B < 0$;

$\Phi = 360^\circ - \Phi^*$, если $A > 0, B > 0$.

Значение параметра вводится в ОЗУ и выводится на экран вычислителя.

9. Определяется угол ψ .

$$\psi = \arcsin \left(-\frac{a_x \cdot \sin \Phi + a_y \cdot \cos \Phi}{g} \right).$$

Значение параметра вводится в ОЗУ и выводится на экран вычислителя.

10. Вычисляется угол θ .

При $-45^\circ \leq \Phi \leq 45^\circ, 135^\circ \leq \Phi \leq 225^\circ$, угол θ определяется

$$\theta = \arcsin \frac{a_x + g \cdot \sin \psi \cdot \sin \Phi}{g \cdot \cos \psi \cdot \cos \Phi};$$

а при углах $45^\circ < \Phi < 135^\circ, 225^\circ < \Phi < 315^\circ$, угол θ определяется

$$\theta = \arcsin \left(-\frac{a_y + g \cdot \sin \psi \cdot \cos \Phi}{g \cdot \cos \psi \cdot \sin \Phi} \right).$$

Список литературы:

1. Барбин Е.С. Сёмкин И.М. Концепция построения скважинной системы ориентации сейсмоприемников. // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – с. 154-156.
2. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований – М: Недра, 1977. – 344 С.
3. Белянин Л.Н. Скважинная гироскопическая система ориентации трехкомпонентного сейсмического зонда // Гироскопия и навигация.-2003. №1. – С. 19-30.

КОАКСИАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сидоренко А.Р., Левашкин А.Г.

Научный руководитель: Левашкин А.Г., к.ф.-м.н.

Научно исследовательский Томский государственный университет, 634050,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: levashkin_ag@mail.ru

В современной микроэлектронике широко применяются полупроводниковые материалы, на основе которых создаются многочисленные типы приборов и микросхем. В связи с развитием солнечной энергетики особое внимание в последнее время уделяется поликристаллическому кремнию. Проблема повышения экономической эффективности производства мультикремния требует оснащения промышленности высокоточными и производительными методами и средствами измерений.

Отработка технологии изготовления поликремния требует детального измерения основных электрофизических параметров: удельного сопротивления и времени жизни неосновных носителей заряда. Однако, измерение этих параметров является сложной задачей из-за наличия в кристалле межзёрнных границ и использование, таким образом, контактных зондовых методов невозможно. Кроме того, все контактные методы являются разрушающими: четырех- зондовый и двух- зондовый методы приводят к нарушению качества поверхности полированных пластин, а для Холловских измерений требуется изготовление образцов специальной формы. [1]

К основным требованиям методов контроля параметров полупроводников можно отнести возможность осуществления измерений быстро и без разрушения исследуемых пластин. Кроме того, в связи с устойчивой тенденцией к миниатюризации в микроэлектронике, указанные требования дополняются требованием высокой локальности измерений, в идеальном случае соизмеримой с размерами изготавливаемого полупроводникового прибора или его дискретного элемента.

Перечисленные проблемы в значительной мере могут быть разрешены с помощью использования бесконтактных сверхвысокочастотных (СВЧ) методов измерения как волноводных, так и резонаторных[2].

Широкий диапазон значений ϵ и σ полупроводниковых материалов обуславливает большое разнообразие методов измерений комплексной диэлектрической проницаемости полупроводников на сверхвысоких частотах, основанных на таких физических явлениях, как поглощение энергии волны свободными носителями заряда, их инерционность в СВЧ поле, поворот плоскости поляризации СВЧ волны при наложении на образец постоянного магнитного поля и т.д.

В сфере контроля качества полупроводниковых материалов наибольшее распространение получил резонаторный метод[2,3]. Методика из-

мерения основана на зависимости добротности СВЧ резонатора от величины удельного сопротивления исследуемого образца. Таким образом, измерение удельного сопротивления сводится к регистрации сигнала детектора с последующим определением искомого значения по калибровочной кривой, вид зависимости которой устанавливается путем предварительной калибровки с помощью эталонных образцов кремния.[3]

Однако, не смотря на высокую чувствительность, резонаторные методы не позволяют выполнять измерения в широком диапазоне частот. Локальность указанных методов ограничена диаметром измерительного отверстия и не может быть выше нескольких мм.

Свободным от данных недостатков является коаксиальный измерительный преобразователь нерезонаторного типа с выступающим центральным проводником (далее КИП)[4], конструкция которого схематично изображена на рис.1.

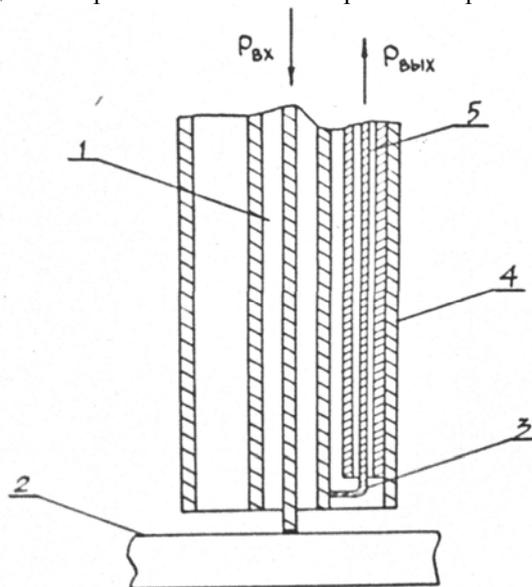


Рис. 1. Конструкция КИП с выступающим центральным проводником. 1- входной коаксиал; 2- измерительная пластина; 3- индуктивная петля связи; 4- внешний проводник; 5- выходной коаксиал.

Обладая широкополосностью волноводного преобразователя, КИП такого типа обеспечивает локальность измерения электрофизических параметров полупроводников, по уровню не уступающую однозондовому методу. Это объясняется тем, что, как и в однозондовом методе, выходной сигнал КИП определяется токами растекания, воз-

буждаемыми в полупроводниковой пластине и зависит, в основном, лишь от диаметра выступающего центрального проводника.

В качестве проверки степени локальности используемого КИП были проведены измерения пластины с искусственно созданной неоднородностью. Результаты измерения удельного сопротивления вдоль оси перпендикулярной границе кремний-нихром приведены на рис. 2. Из полученного графика видно, что локальность метода составляет ≤ 100 мкм.

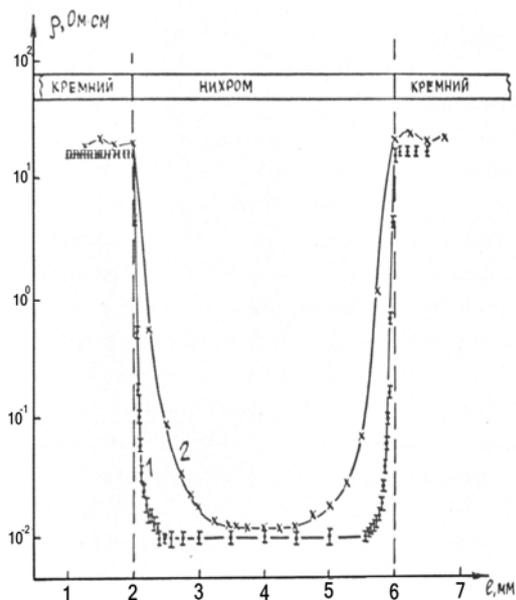


Рис. 2. Распределение удельного сопротивления в структуре с резким ступенеобразным изменением ρ : 1- КИП с $l=0,012$ мм; 2- КИП с $l=0,5$ мм.

На рис. 3 для иллюстрации возможностей КИП приведены экспериментальные данные по измерению удельного сопротивления участка пластины из поликристаллического кремния, показывающие насколько высокая локальность измерения КИП позволяет четко определить границу между соседними монокристаллическими блоками, а также размеры самих блоков и их удельное сопротивление.

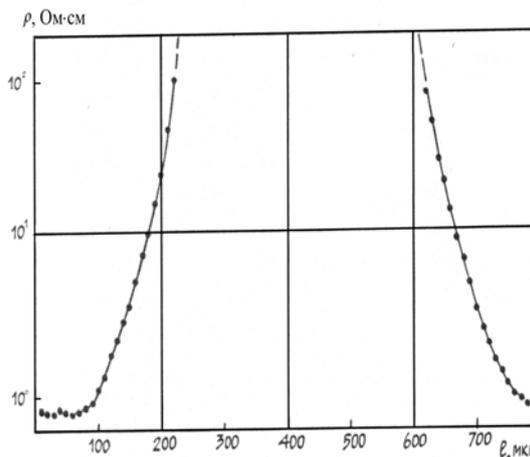


Рис. 3. Распределение удельного сопротивления в пластине поликристаллического кремния.

В заключении отметим, что предлагаемая конструкция КИП позволяет при незначительной доработке регистрировать и такой важный параметр, как эффективное время жизни неравновесных носителей заряда[5].

Список литературы:

1. Ковтонюк Н.Ф., Концевой Ю.А. Измерение параметров полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1970.
2. Ахманов 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.
3. Медведев Ю.В., Детинко М.В., Петров А.С. Физические основы неразрушающего СВЧ-резонансного метода локального контроля электрофизических параметров полупроводников.- Томск: Изд. ТГУ, 1988.- 30 с.
4. Левашкин А. Г., Тюльков Г.И. Экспрессный СВЧ метод локального измерения диэлектрической проницаемости// Всесоюзная научно-техническая конференция «Методы и средства измерений электромагнитных характеристик материалов на ВЧ и СВЧ»: Тез.докл.- Новосибирск, 1983, с.81-82.
5. Левашкин А.Г., Тюльков Г.И., Петров А.С. Сверхвысокочастотный метод неразрушающего контроля электрофизических параметров тонких полупроводниковых и диэлектрических слоев// Сборник методических разработок в области материаловедения полупроводников и твердотельных структур.-Новосибирск, 1986, с.36-38 - (ДСП).

УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Сиротина Ю.В.

Научный руководитель: д.т.н. Патюков В.Г.

Железногорский филиал СФУ, 662971, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова 12а

Email: Julia-bullet@mail.ru

Спутниковая связь – один из видов радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников земли в качестве ретрансляторов [1].

В последние годы в России всё активнее внедряются современные виды и средства связи. Но если сотовый телефон уже стал привычным, то аппарат персональной спутниковой связи пока ещё редкость. Анализ развития подобных средств связи показывает, что уже в скором будущем мы станем свидетелями повседневного применения систем персональной спутниковой связи.

Системы персональной спутниковой связи обладают рядом преимуществ. Например, если пользователь находится за пределами зоны обслуживания местных систем, спутниковая связь играет ключевую роль, поскольку она не имеет ограничений по привязке к конкретной местности Земли.

В зависимости от вида предоставляемых услуг спутниковые системы связи можно разделить на три основных класса:

Системы пакетной передачи данных.

Системы речевой связи.

Системы для определения местоположения потребителей.

Системы пакетной передачи данных предназначены для передачи в цифровом виде любых данных. Скорость пакетной передачи данных в космических системах связи составляет от единиц до сотен килобайт в секунду.

При речевой связи в спутниковых системах используют цифровую передачу сообщений, при этом обязательно должны выполняться общепринятые международные стандарты. В таких системах задержка сигнала на трассе распространения не должна превышать 0.3 с и переговоры абонентов не должны прерываться во время сеанса связи.

Для обеспечения достаточного количества каналов связи через спутник, требуется большое количество узловых станций с дорогим коммуникационным оборудованием. Во многих случаях абоненту необходимо знать своё местоположение или координаты на Земле. Для этих целей применяют аппаратуру двух типов: навигационную систему GPS и систем ГЛОННАС, которая обеспечивает очень высокую точность определения координат потребителя.

Специальную навигационную аппаратуру, которая по сигналам спутников позволяет определить координаты потребителя, но с меньшей точностью используя аппаратуру второго типа, можно определить координаты абонента одним из следующих способов:

- по сигналам 4 спутников персональной связи;
- по сигналам шлюзовых наземных станций;
- по сигналам спутников и шлюзовых станций.

Значительный прогресс в развитии спутниковых систем персональной связи достигнут благодаря внедрению новых технических решений, ключевыми из которых можно считать: обработку сигнала на борту спутника-ретранслятора, создание перспективных сетевых протоколов обмена информацией и применение недорогих портативных пользовательских терминалов с малым энергопотреблением.

Поскольку радиочастоты являются ограниченным ресурсом, необходимо обеспечить возможность использования одних и тех же частот разными земными станциями. Сделать это можно двумя способами:

– пространственное разделение – каждая антенна спутника принимает сигнал только с определенного района.

– поляризационное разделение – различные антенны принимают и передают сигнал во взаимно перпендикулярных плоскостях поляризации.

Выбор частоты для передачи данных от земной станции к спутнику и от спутника к земной станции не является произвольным. От частоты зависит, например, поглощение радиоволн в атмосфере, а также необходимые размеры передающей и приемной антенн.

Используются и более высокие частоты, но повышение их затруднено высоким поглощением радиоволн этих частот атмосферой.

Для передачи данных крупными пользователями часто применяется С-диапазон. Это обеспечивает более высокое качество приема [2].

Недостатки спутниковой связи.

Огромные расстояния между земными станциями и спутником являются причиной того, что отношение сигнал/шум на приемнике очень невелико. Для того, чтобы обеспечить приемлемую вероятность ошибки, приходится использовать большие антенны, малошумящие элементы и сложные помехоустойчивые коды. Особенно остро эта проблема стоит в системах подвижной связи, так как в них есть ограничение на размер антенны и, как правило, на мощность передатчика.

Влияние атмосферы на распространение сигнала.

На качество спутниковой связи оказывают сильное влияние эффекты в тропосфере и ионосфере.

Поглощение сигнала атмосферой находится в зависимости от его частоты. Максимумы поглощения приходятся на 22,3 ГГц (резонанс водных

паров) и 60 ГГц (резонанс кислорода). Кроме поглощения, при распространении радиоволн в атмосфере присутствует эффект замирания, причиной которому является разница в коэффициентах преломления различных слоев атмосферы.

Проблема задержки распространения сигнала так или иначе затрагивает все спутниковые системы связи. Наибольшей задержкой обладают системы, использующие спутниковый ретранслятор на геостационарной орбите.

Задержка распространения наиболее нежелательна в приложениях реального времени, например, в телефонной связи. При этом, если время распространения сигнала по спутниковому каналу связи составляет 250 мс, разница во времени между репликами абонентов не может быть меньше 500 мс.

Атмосферное газообразное поглощение сигнала в основном происходит при ясном небе. Величина поглощения зависит от абсолютной влажности или плотности водяных паров. На частотах ниже 7,5 ГГц данная величина имеет относительно небольшое значение. Номинальные значения атмосферного поглощения для Европы приведены на рисунке 1.

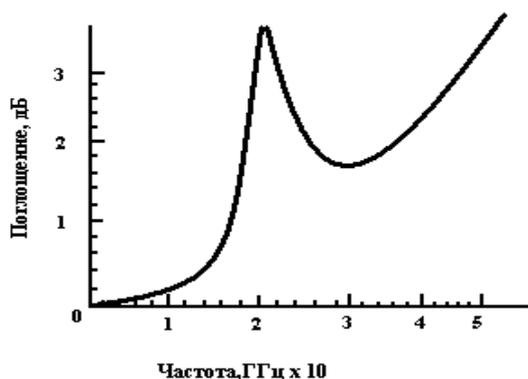


Рис.1. Номинальное значение атмосферного газообразного поглощения

Вторая составляющая влияния условий распространения – это затухание сигнала в осадках. При распространении сигнала по линии связи вверх приемник спутника будет «видеть» вполне постоянную, но высокую шумовую температуру, исходящую от теплой Земли. Ее величина составляет 290 К, поэтому дополнительное излучение тепловой энергии от дождя будет оказывать незначительное влияние. При распространении сигнала по линии связи вниз приемник направлен в небо, имеющее относительно невысокую шумовую температуру. Поэтому дополнительная тепловая шумовая составляющая, вносимая дождем, уже не

будет незначительной в общих шумах приемной системы. Осадки не только непосредственно ослабляют сигнал, но и приводят к возрастанию шумовой температуры приемной системы. Важно, чтобы указанное возрастание шумов приемной системы было учтено. Сочетание этих двух составляющих называется снижением эффективности линии связи вниз (DND).

Влияние условий распространения сигнала становится значительным на частотах выше 8 ГГц. Дождь, снег, туман или облачность ослабляют и рассеивают микроволновый сигнал. Величина ослабления зависит больше от размера водных капель, чем от интенсивности осадков. Как правило, температура физической среды при всех формах выпадения осадков принимается равной 260 К.

Номинальные значения для Европы при доступности сигнала 99,7 % для среднего года (99 % для наихудшего месяца) приведены на рис. 2. [3]

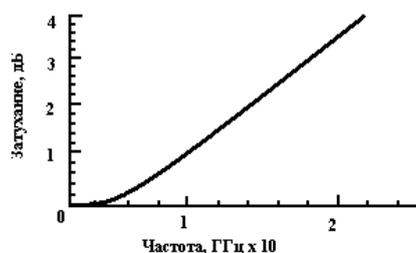


Рис.2. Номинальное значение затухания сигнала в дожде

Для снижения влияния атмосферы на прохождение сигнала предлагается расположение всех спутников на низкой околоземной орбите, т.к. они менее восприимчивы к повреждению частиц и, следовательно, уменьшаются проблемы с задержкой распространения сигнала. А вот солнечный эффект, который в какой-то степени влияет на передачу сигнала может быть снижен, если использовать ещё несколько спутников в различных орбитах. Т.е. временно переадресовать сигнал к другому спутнику, который не находится с солнцем в определённое время.

Список литературы:

1. Вишневецкий, В.И., Ляхов, А.И., Портной, С.Л., Шахнович, И.В. Исторический очерк развития сетевых технологий // Широкополосные сети передачи информации – Монография.
2. <http://kunegin.com/refl/sput/sss.htm>
<http://www.chishma.ru/tareki/ekvivaletn-shumov-temperat-antennw.html>

НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА

Солдатов А.А.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: soldatov.88@bk.ru

Продуктопроводы являются составной частью общей мировой системы транспортировки жидких и газообразных продуктов. Наибольшее распространение имеют трубопроводы по перекачке газа, нефти, и продуктов их переработки. Максимальную экологическую опасность представляют продуктопроводы, по которым транспортируются отравляющие вещества, подобные аммиаку. На втором месте находятся нефтепроводы. При эксплуатации магистральных трубопроводов установлено, что аварии концентрируются в местах появления пластической деформации.

Кроме того среди технологических приемов упрочнения наряду с оптимизацией процессов формования, спекания, легирования и термической обработки, в последнее время прибегают и к деформационным обработкам по определенным режимам. Таким образом, возникает актуальная необходимость контроля степени пластической деформации.

Локализация областей пластической деформации, предшествующей разрушению, необходимо для выявления остаточного ресурса изделий из металлов, работающих под нагрузкой. Среди неразрушающих методов определения пластической деформации можно выделить:

- рентгеновский,
- ультразвуковой.

Однако перечисленные методы имеют ограниченное применение и не всегда позволяют точно определить место возникновения пластической деформации.

Предложенный метод основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников, спаи или контакты которых находятся при различных температурах, возникает ток. В случае разогрева контакта двух образцов до температуры T_2 , отличающихся по энергии выхода электронов в точке контакта, в электрической цепи возникает электродвижущая сила. По величине возникающего тока в цепи можно будет сделать определенные выводы по относительной величине пластической деформации.

В настоящее время приборы термоэлектрического контроля металлов и сплавов не получили широкого распространения из-за низкой точности и плохой повторяемости результатов измерения, в результате чего снижается достоверность контроля изделий из металла. Этот недостаток обусловлен зависимостью величины термо-ЭДС от сопротивления контакта горячего электрода с контролируемым изделием и его зависимостью от разности

температуры между горячим и холодным электродами [1].

Для устранения этого недостатка предлагается использовать дифференциальный метод. Чувствительность и точность этого метода на различие по энергии выхода электронов выше метода термо-эдс, так как температурный режим в контактных точках сохраняется одинаковым как для эталона так и для образца.

Схема, приведенная на рис.1 и используемая в изготовленном приборе, работает следующим образом. Электрическая цепь, состоящая из эталона Э, горячего электрода 2, испытуемого образца Х, холодных электродов 1,4 и гальванометра G, замыкается горячим электродом 2, предварительно нагретым нагревателем 3 до температуры T_2 . В случае одинаковых химических составов и состояний эталона и испытуемого образца, термо-э.д.с. контактов Э-2 и 2-Х будет равна по величине, но противоположна по направлению и, следовательно, гальванометр не регистрирует наличие в цепи э.д.с.

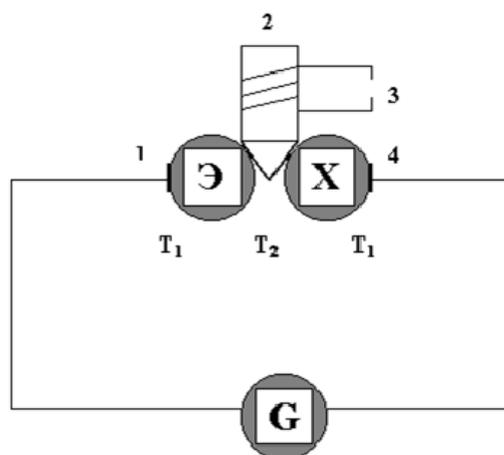


Рис.1. Принципиальная схема измерения дифференциальной термоэлектродвижущей силы, используемая в приборе «Термотест»

В случае различного химического состава либо структурного состояния поверхности эталона и испытуемого образца, величина термо-э.д.с. контактов Э-2 и 2-Х будет различна по абсолютной величине и определяться температурой T_2 горячего и T_1 холодных электродов. В этом случае гальванометр регистрирует наличие в цепи э.д.с., величина которой равна алгебраической сумме термо-э.д.с. контактов Э-2 и 2-Х (т. е. дифференциальная термо-э.д.с.), что свидетельствует о раз-

личном химическом составе либо структурном состоянии поверхности эталона и испытуемого образца. Размеры эталона и образца не оказывают влияния на дифференциальную термо-э.д.с., если выполняется условие равенства температуры контактов образцов с холодными электродами. В предлагаемом приборе возможность возникновения паразитных термо-э.д.с. из-за различной температуры контактов эталона и образца, исключены благодаря оригинальной конструкции датчика.

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены образцы, один из них приведен на рис.2, на которых вырезаны насечки для локализации места разрыва. Испытаниям подвергались по 5 образцов из каждой марки сталей:

- 0,8ПС-5;
- 12Х18Н10Т;
- Сталь3.



Рис.2. Образец из материала: 0,8ПС-5

Поверхность образцов при контроле должна быть очищена от грязи, жировых пятен и зачищена до металлического блеска. Зачистку рекомендуется вести абразивным кругом, но без прижогов.

Насечки на образцах делались с помощью абразива, чтобы на них не было посторонней металлической стружки, влияющей на величину термо-ЭДС. С помощью разрывной машины подготовленные образцы подвергались деформации. В местах деформации проводились измерения дифференциальной термо-ЭДС, специально изготовленным прибором «Термотест».

Эксперименты проходили на разрывной машине МИРИ-100К с компьютерным управлением и записью диаграммы растяжения. Разрывная машина типа МИРИ-100К предназначена для статических испытаний образцов металлов и сплавов на растяжение при нормальной температуре по ГОСТ 1497, 6996, 10006, 27208

Из рис. 4 видно, что в области упругих деформаций изменения термо-ЭДС не наблюдается, при появлении пластической деформации происходит увеличение термо-ЭДС с увеличением величины

деформации. Максимальное значение термо-ЭДС достигается при максимальном значении деформации перед разрушением образца.

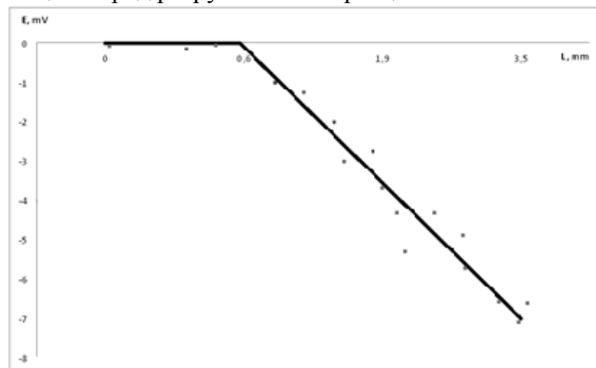


Рис.4. Зависимость термо-ЭДС от удлинения, сталь 12Х18Н10Т

В качестве эталона использовалось изделие, изготовленное из той же марки стали, что и испытуемый образец. Во время растяжения образца измеряли термо-э.д.с. в местах предполагаемой пластической деформации и вблизи нее. Контроль осуществлялся контактным методом, при котором время одного измерения не более 3 секунд.

Максимальное значение термо-ЭДС соответствует месту появления пластической деформации. С удалением величина термо-ЭДС увеличивается и при расстояниях превышающих 15мм изменение термо-ЭДС не наблюдается.

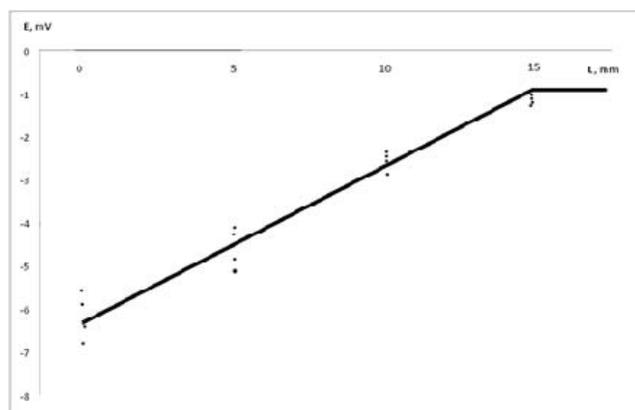


Рис.3. Зависимость термо-ЭДС от расстояния

Таким образом, методом дифференциальной термо-ЭДС можно определить место пластической деформации с высокой точностью.

Список литературы:

- 1.Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. Физические свойства металлов и сплавов, М., Металлургия, 1980 г.
- 2.А.А. Лухвич, А.С. Каролик, В.И. Шарандо. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль.

РАЗРАБОТКА ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ ДЛЯ СИГНАЛЬНЫХ ОГНЕЙ НАВИГАЦИОННОГО ОГРАЖДЕНИЯ

Стаханова К.А.

Научный руководитель: Агапов Н.А., д.ф.м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ksyusha1988@sibmail.com

Введение.

Судоходная обстановка, или навигационное ограждение, обеспечивает безопасные условия плавания судов на реках, водохранилищах и озерах.

Знаки судоходной обстановки указывают судоводителю направление и границы судового хода, расположение опасных препятствий, надводных и подводных переходов линий связи и электропередач, судоходные пролеты мостов.

Навигационные ограждения, оборудованные сигнальными огнями, обеспечивают круглосуточное движение судов и поэтому должны быть хорошо видны в светлое и темное время суток. [1]

Источники света (лампы накаливания, газоразрядные лампы, светодиоды) излучают свет во всех направлениях, в то время как для навигационных целей излучение необходимо только в заданных направлениях. Так, створный фонарь должен излучать свет узким пучком по оси судового хода. Фонарь на плавучем знаке (буе, бакене) должен равномерно излучать свет в горизонтальной плоскости при сравнительно малом угле рассеивания в вертикальной плоскости.

Для концентрации светового потока в нужных направлениях служат линзы и отражатели. За счет этой концентрации они многократно увеличивают силу света лампы.

Светосигнальные огни представляют собой источник света и цилиндрическую линзу Френеля.

В качестве источников света до недавнего времени использовались лампы накаливания, но на смену им пришли более экономичные светодиоды. В фонарях кругового действия большое применение получили два типа линз изготовленных из стекла: ЛК-90 и ЛР-90. (Буквы К и Р указывают на то, что линза формирует более концентрированный или рассеянный световой поток соответственно). На рисунке 1 приведен вид одной из линз ЛК-90.

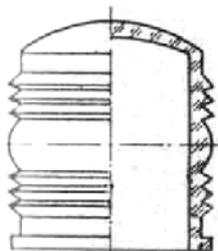


Рис. 1. Разрез цилиндрической линзы ЛК-90.

На сегодняшний день большую конкуренцию стеклу составляет оптический поликарбонат. Поликарбонат – это полимерный пластик, который нашел широкое применение в современном производстве. Сам по себе он обладает морозостойкими свойствами, легкий и прочный, а характеристики светопрозрачности даже превышают по качеству традиционное стекло.

Стеклообразная линза ЛК-90 по своим качествам имеет большое усиление света в горизонтальной плоскости, но, не смотря на это, имеет большие размеры и соответственно вес. Заменяя стекло поликарбонатом необходимо осуществить перерасчет оптической части линзы, так как показатель преломления стекла $n_c = 1,53$, а показатель преломления поликарбоната $n_n = 1,585$.

Основные расчеты оптических характеристик линзы ЛК-90 осуществляются, используя традиционные методы расчета.[2]

Технические требования на разработку ЛК-90.

Материал: оптический поликарбонат

Фокусное расстояние 45 мм

Внутренний диаметр 90 мм

Высота линзы 123 мм

Толщина несущего слоя 4 мм

В таблице 1 приведены результаты расчета профиля линзы Френеля из поликарбоната.

Используя современные программные средства (SolidWorks и OptisWorks) создается модель линзы ЛК-90 с $n_n = 1,585$. На рисунке 2 представлен ее внешний вид.

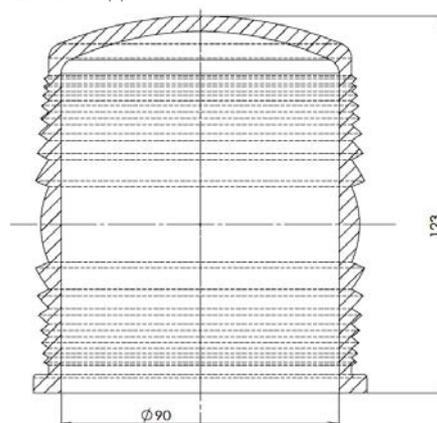


Рис. 2. Визуализация линзы Френеля в сечении.

Таблица 1
Результаты расчета

Элемент	Высота, мм		Углы падения и выхода верхних точек элемента			Толщина раб грани элемента, мм	Радиус кривизны, мм	Координаты центра, мм		Возвышение соединит граней элементов, мм	
	общая y	Элемента $y-y_0$	$u=i_1$	i_1'	i_2'			t_2	r	a	b
Центр.	12.05	12.06	15	9.39	24.66	2.78	30.53	23.75	0	0.66	
1	20	7.94	23.96	14.84	37.35	4.56	40.03	27.82	3.22	1.06	9.96
2	26	6	30.01	18.39	44.78	4.43	52.10	32.98	9.37	1.33	4.08
3	31	5	34.56	20.97	49.76	4.14	64.92	37.93	17.03	1.53	13.21
4	35	4	37.87	22.78	53.08	3.51	77.61	42.62	25.37	1.68	7.70
5	38.5	3.5	40.54	24.21	55.57	3.17	89.94	46.85	33.89	1.79	9.39
6	41.5	3	42.68	25.32	57.45	2.78	101.90	50.82	42.50	1.89	1.30
7	44	2.5	44.35	26.17	58.85	2.35	113.03	54.46	50.77	1.96	10.82
8	46.5	2.5	45.93	26.96	60.12	2.37	124.12	57.82	59.10	2.03	24.26

По полученным расчетам смоделирована френеливская линза в программе OptisWorks.

Используя точечный источник света мощностью 2 Вт, находящийся в фокусе линзы видно, что лучи, пройдя оптическую систему, преломляются и выходят параллельным пучком (Рис.3.).

Результаты расчета свидетельствуют и продемонстрированы на рисунке 4, максимальная сила света на оптической оси линзы из поликарбоната составляет 17 кд, что значительно отличается от стеклянной линзы, максимальная сила света которой 10 кд. (Рис. 5.)

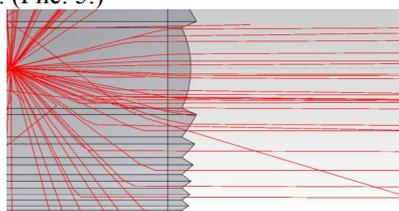


Рис. 3. Трассировка лучей через оптическую систему.

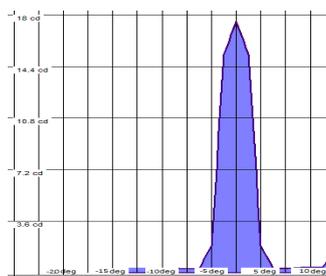


Рис. 4. Кривая светораспределения линзы из поликарбоната ЛК-90 в вертикальной плоскости.

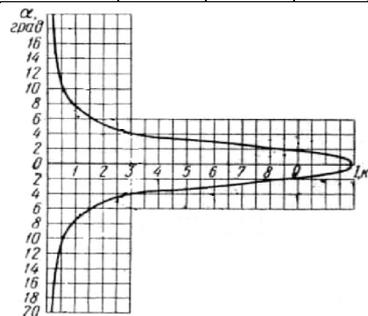


Рис. 5. Кривая светораспределения стеклянной линзы ЛК-90 в вертикальной плоскости. [1]

Вывод

Заменяв обычное стекло оптическим поликарбонатом, ЛК-90 визуально незначительно изменилась в конструкции, сохраняя прежние габариты. Достигнуты хорошие результаты: масса уменьшилась больше чем в два раза (масса ЛК-90 из стекла равна 565 г, а из поликарбоната 273 г), на оптической оси отклонение света не превышает 5 градусов, коэффициент усиления линзы равен 9, что соответствует требованиям на данную линзу.

Данная работа выполнена в рамках проекта постановления Правительства РФ №218.

Список литературы:

1. Шмерлинг И.Е. Монтер судоводной обстановки: Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.; Транспорт, 1977-173 с.
2. Карякин Н.А. Световые приборы : Учебник для вузов.- М.; Высшая школа, 1975-335 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ В ТРИОДЕ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

Тимофеев А.А.

Научный руководитель: Григорьев В.П., д.ф.-м.н., профессор
 Томский политехнический университет, 634500, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: andreymoff@mail.ru

Введение

Генерация электромагнитного излучения в системах с виртуальным катодом (ВК). Привлекает к себе внимание в связи с отсутствием в таких системах ограничения накладываемого на ток из-за пространственного заряда, существующего в известных вакуумных генераторах. Это объясняется способностью генерировать электромагнитные колебания только при токах электронного пучка выше предельного вакуумного, когда выполняется условие формирования ВК. Благодаря этой черте можно создавать новые приборы для генерации мощных электромагнитных импульсов в сантиметровом и миллиметровом диапазоне частот. Эти приборы имеют такие достоинства, как перестройка по частоте, формирование мощных электромагнитных импульсов большой длительности, конструктивная простота и компактность (возможность отсутствия фокусирующих магнитных полей и соответствующих источников питания).

Рассмотрим один из классов СВЧ приборов с ВК, в которых отсутствуют пролетные частицы. В них электроны совершают только осцилляторное движение между реальным и виртуальным катодами. Эти приборы называются триодами с ВК.

Основные уравнения

Рассмотрим цилиндрический резонатор радиуса R_c и длины H_c , в котором помещен отражательный триод с ВК. На рис. 1 показана схема системы с плоским катодом, используемая в теоретических исследованиях и адекватно отражающая реальную экспериментальную установку. К - катод, А - анод, ВК - виртуальный катод.

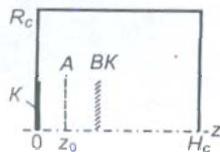


Рис. 1. Система с плоским катодом, симметричным по углу относительно оси z

Плотность тока электронного пучка в цилиндрической системе координат (r, θ, z) имеет следующий вид:

$$j_z = -aq\Omega \cos(\Omega t) \frac{e^{i(r-r_0)'} \delta(z - z_0 - a \sin(\Omega t))}{r} \quad (1)$$

$$j_r = j_\theta = 0$$

Уравнения Максвелла, характеризующие электромагнитное поле в данной системе, запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \text{rot } \vec{H} &= \frac{1}{c} \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{J}_v \\ \text{rot } \vec{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{div } \vec{D} &= 4\pi \rho \\ \text{div } \vec{B} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Среднее значение мощности излучения $W_{cp}(t)$:

$$\begin{aligned} W_{cp} &= \\ \frac{64\pi^3}{k_z^2} q^2 \Omega^4 \cdot A_E^2 \approx^4 J_0^2(\approx r_0) \alpha_v \cdot \\ \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{(2m-1)^2 J_{2m-1}^2(a k_z) \cdot \cos^2(k_z z_0)}{(\omega_0^2 - (2m-1)\Omega^2)^2 + 4a_0^2 \Omega^2} + \right. \\ \left. \frac{(2m)^2 J_{2m}^2(a k_z) \cdot \sin^2(k_z z_0)}{(\omega_0^2 - 2m\Omega^2)^2 + 4a_0^2 \Omega^2} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

Мощность излучения на одной из резонансных частот ($\omega_v = \Omega$) запишется в виде:

$$\begin{aligned} W_p &= \\ \frac{32\pi^3}{Q k_z^2} N^3 e^2 \Omega \cdot A_E^2 \approx^4 J_0^2(\approx r_0) \cdot \\ \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ J_{2m-1}^2(a k_z) \cdot \cos^2(k_z z_0) \cdot \frac{(2m-1)^2}{(2m-2)^2 + \frac{1}{Q^2}} + \right. \\ \left. J_{2m}^2(a k_z) \cdot \sin^2(k_z z_0) \cdot \frac{(2m)^2}{(2m-1)^2 + \frac{1}{Q^2}} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Основной вклад в мощность излучения, генерируемого электронным пучком, будет давать первый член ряда, содержащий функцию Бесселя первого порядка. Тогда из (15) получим:

$$\begin{aligned} W_p^1 &= \frac{32\pi^3}{k_z^2} N^3 e^2 \Omega Q \cdot A_E^2 \approx^4 J_0^2(\approx r_0) \cdot J_1^2(a \cdot \\ k_z) \cdot \cos^2(k_z z_0) &= \\ \frac{128\pi^3 q^2 c Q}{R_c^4} \cdot \frac{\mu_0^2 J_0^2(\frac{\mu_0 r_0}{R_c}) J_1^2(a \frac{b\pi}{h}) \cos^2(\frac{b\pi}{h} z_0)}{b^2 J_0^2(\mu_0) \sqrt{(\frac{\mu_0}{R_c})^2 + (\frac{b\pi}{h})^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

Возьмем параметры существующей установки: длина $h = 45$ см, радиус $R_c = 15$ см, добротность $Q = 100$, заряд пучка электронов $q = 10^{11} \cdot e$.

Рассчитаем частоту излучения в зависимости от напряжения и величины зазора между анодом и катодом:

$$\omega = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_0 U}{m_0 c^2}} \cdot \frac{c}{d} \quad (6)$$

Тогда полученные зависимости можно представить в следующем виде:

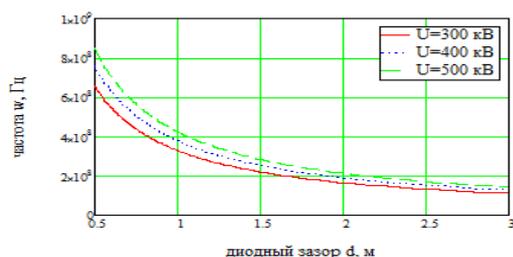


Рис. 2. График зависимости частоты излучения от напряжения и зазора между катодом и анодом
Из полученных значений для частоты можно найти значения для длины волны:

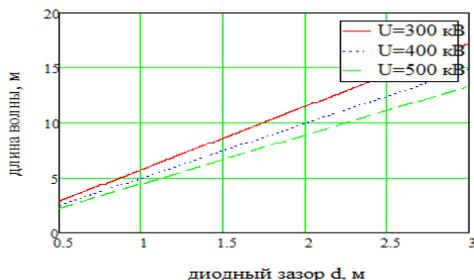


Рис. 3. График зависимости длины волны излучения от напряжения и зазора между катодом и анодом

Найдем зависимость для плотности тока:

$$i = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \left(\frac{e_0 U}{m_0 c^2} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{I_{A0}}{d^2} \quad (7)$$

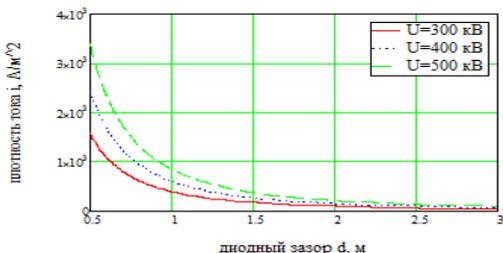


Рис. 4. График зависимости плотности тока в триоде от напряжения и зазора между катодом и анодом

Рассмотрим зависимость мощности излучения от радиуса пучка, диодного зазора и напряжения, подаваемого на катоды.

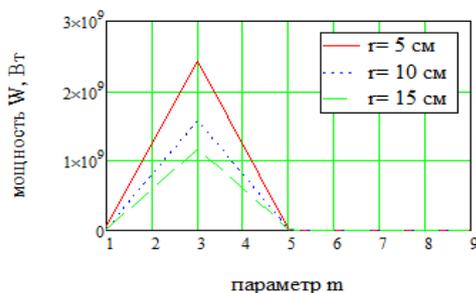


Рис. 7. График зависимости мощности излучения от радиуса пучка при постоянном напряжении и диодном зазоре.



Рис. 5. График зависимости мощности излучения от напряжения на катодах при постоянном радиусе пучка и диодном зазоре.

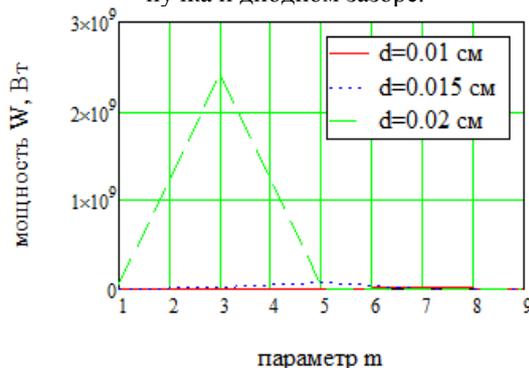


Рис. 6. График зависимости мощности излучения от диодного зазора при постоянном радиусе пучка и напряжении на катодах.

Из графиков видно, что увеличение радиуса пучка ведет к уменьшению мощности излучения, а изменение таких параметров как напряжение и диодный зазор не дает наглядной зависимости. Это объясняется тем, что при изменении радиуса пучка не меняется резонансная частота, длина волны и плотность тока, а при изменении зазора и напряжения необходима подстройка системы. Это наглядно демонстрирует, что необходима определенная система (выражение, функция) для упрощения оптимизации системы. Один из вариантов приведен в данной статье и наглядно демонстрирует применимость данного подхода.

Литература

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Жерлицын А.Г. Генерация электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // В сб.: Плазменная электроника / Под ред. В.И. Курилко. – Киев: Наукова думка, 1989.
 2. Григорьев В.П., Коваль Т.В. Теория генерации электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // Известия вузов. Физика. – 1998. – № 4.
- Тимофеев А.А. Исследование электро-магнитного излучения сгустка электронов в триоде с виртуальным катодом. // Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика/Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2011. 396 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЕРКИ СКВАЖИННЫХ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ

Ткачев В.Г.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: VGTkachev@mail.com

В настоящее время, точность проводки нефтегазовых скважин по заданной траектории и последующий контроль при геофизических исследованиях скважин во многом зависит от метрологических параметров забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры. Инклинометр предназначен для непрерывного или точечного измерения азимута и зенитного угла скважины, а также ориентации отклонителя относительно магнитного меридиана, либо плоскости наклона скважины.

Контроль над единством измерений на предприятиях и в организациях службы ГИС обеспечиваются головными и базовыми организациями по метрологии в области ГИС, а также территориальными центрами или лабораториями государственного надзора за стандартами и измерительной техникой. В связи с тем, что инклинометрические высокоточные датчики, встраиваемые в буровой инструмент, работают в условиях повышенных вибраций и ударов, чувствительные элементы инклинометрических систем с течением времени должны подвергаться проверке, калибровке, либо ремонту или полной замене, т.к. цена ошибки, вызванная неточностью аппаратуры при бурении, может быть очень велика.

Для метрологического обеспечения инклинометрической аппаратуры на геофизических предприятиях широко распространены метрологические установки калибровки и поверки скважинных инклинометров типа УСИ-2, УПИ-1, УКИ-2 и др. [1]

Все разработанные установки имеют свои достоинства и недостатки. Руководствуясь их функциональностью в работе, выбирается более подходящий вариант. Подобные установки могут быть использованы только в стационарных условиях завода-изготовителя инклинометров или лабораторий геофизических компаний. До настоящего времени нет средств для оперативной поверки инклинометров на месторождениях. Авторами предложен метод и устройство для упрощения и повышения мобильности поверки скважинной системы ориентации, основанный на поверке инклинометров с использованием эталонной системы ориентации [2].

Методика поверки скважинной системы ориентации заключается в следующем. Эталонное устройство (рис. 1) закрепляется на корпусе поверяемого прибора 3, при помощи корпуса 1, скобы 2 и прижимного винта 4 с башмачком 5.

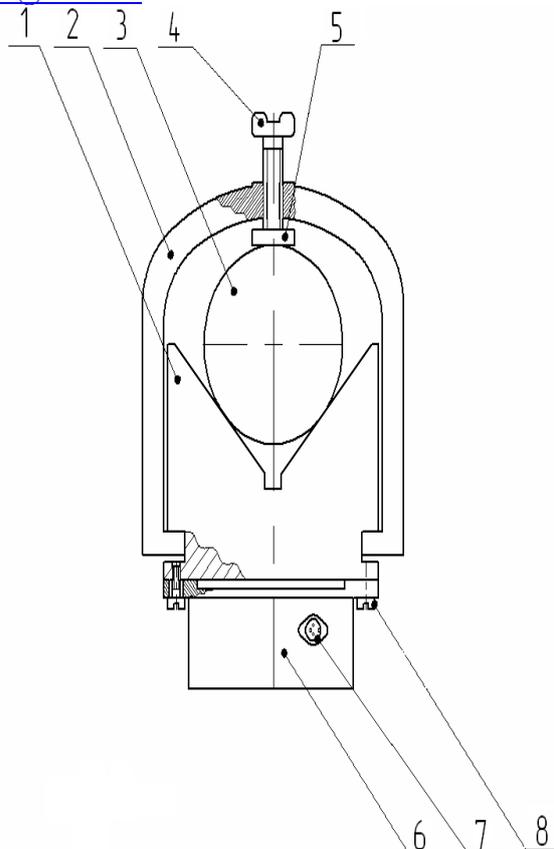


Рис 1. Конструктивное исполнение эталонной системы: 1 - корпус эталонного устройства, 2 - скоба, 3 - поверяемый прибор, 4 - прижимной винт, 5 - башмачок для прижима, 6 - блок сенсоров эталонной системы ориентации, 7 - разъем для питания и передачи данных, 8 - винты крепежные

Зажимное устройство позволяет осуществить крепление поверяемых приборов разного диаметра. Базирование эталонной системы ориентации на охранном кожухе поверяемого прибора происходит по призматической поверхности корпуса 1. Это обеспечивает соосность осей чувствительности блока сенсоров эталонной системы 6 и поверяемого прибора 3.

Далее поверяемому инклинометру задается произвольное пространственное положение (рис. 2).

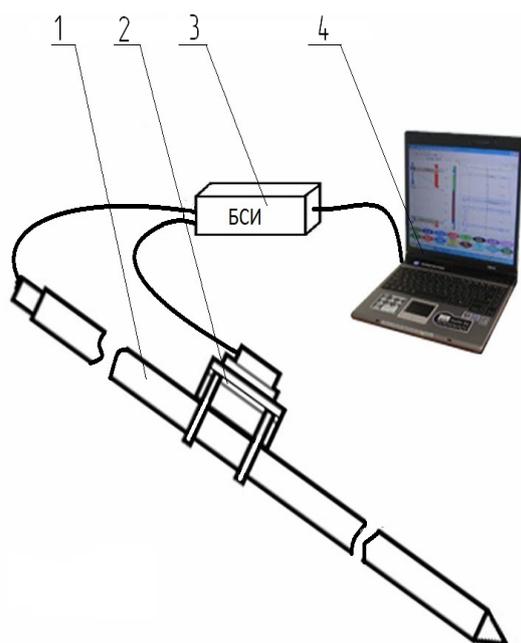


Рис 2. Схема системы для оперативной поверки инклинометрических систем: 1- поверяемый прибор, 2 – эталонная система, 3 – блок сбора информации, 4 – компьютер.

С поверяемого прибора и эталонной системы данные поступают через блок сбора информации (БСИ) 3, на компьютер 4. В компьютере производится сравнение полученных данных. Результаты анализа выводятся на монитор. По показаниям дается оценка работоспособности прибора. Если прибор отвечает всем требованиям точности, то он далее запускается в эксплуатацию, если прибор дает отклонение от допустимых погрешностей, то он отправляется в ремонтную мастерскую.

Достоверность результатов поверки и калибровки магнитных инклинометров на метрологических установках определяется точностью началь-

ной выставки осей поверяемого прибора и эталонной системы. В результате технологических погрешностей изготовления деталей, погрешности сборки установки, упругих деформаций происходит отклонение осей чувствительности поверяемого прибора и эталонной системы от параллельности. При обработке поверхностей призмы для базирования поверяемого инклинометра и блока сенсоров, эталонной системы по 6-8 степени точности по ГОСТ 24643-81 отклонение их от параллельности при соответствующих размерах не превосходят пяти угловых секунд.

Корпус данного прибора сделан из немагнитных материалов для исключения искажения магнитного поля. Габариты и масса устройства сравнительно малы, что позволяет легко транспортировать его и быстро монтировать. Деформацией корпуса поверяемого прибора можно пренебречь. Конструкция установки проста, обеспечивает высокую точность базирования поверяемого инклинометра и эталонного прибора. Возможность применения устройства для инклинометров разных диаметров делает его универсальным. Стоимость устройства много меньше поверочных установок. Простота обслуживания приводит к снижению трудоемкости работ при поверке и калибровке инклинометров.

Литература:

1. Гарейшин З. Г. Концептуальные вопросы компоновки метрологических установок пространственной ориентации скважинной инклинометрической аппаратуры // Нефтегазовое дело 2006г. - 33с. www.ogbus.ru
2. Гормаков А.Н. Ульянов И.А. Ткачев В.Г. Устройство для поверки скважинных инклинометров // патент России на полезную модель №98472, 2010, Бюл. №29.

СРАВНЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ СВЕТОДИОДНЫМИ И ТРАДИЦИОННЫМИ ЛАМПАМИ

Толкачева К.П., Никитин В.Д.

Научный руководитель: Никитин В.Д., доцент

Томский политехнический университет, 634034, Россия, г.Томск, пр.Ленина,30

E-mail: tkp@tpu.ru

1. Для освещения офисных и жилых помещений, больниц, детских дошкольных учреждений, школ, колледжей, ВУЗов широко используются люминесцентные лампы (ЛЛ).

Существенные недостатки ЛЛ – пульсация потока, наличие ПРА, температурная зависимость. У ЛЛ типа T5 световой поток с единицы площади (светимость, яркость) в сравнении с лампами T12, T8 больше, поэтому относительно больше слепящее действие. В политике законодателя на быстрое вытеснение ЛН сменился вектор: вместо КЛЛ сейчас настойчиво рекомендуются светодиоды (СД). СД имеют полосковый спектр излучения; если какой-то цвет окружающей обстановки попадет в провал полосы излучения, – он будет восприниматься человеком как субъективно черный (т.к. нет света такой длины волны, который этот предмет мог бы отразить). Спектр излучения не соответствует дневному, как у ЛЛЛ. Ограничения по температуре кристалла.

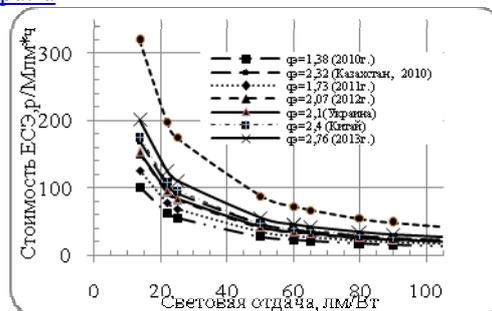


Рисунок. Зависимость стоимости ЕСЭ от световой отдачи и тарифа на ЭЭ

СД – относительно новый источник света (ИС), быстро развивающийся и обладающий большими перспективами. На рисунке изображена зависимость стоимости единицы световой энергии (ЕСЭ) СД и традиционных ИС от η_v .

2. Отметим ряд существенных обстоятельств, в том числе – часто недооцениваемых в инженерных задачах (табл.1)

Таблица 1. Обсуждаемые обстоятельства (приводится фрагмент)

Фетишизация значений световой отдачи \\\\ экономии ЭЭ	Более высокие значения η_v , экономия ЭЭ у потребителя, могут не давать экономии в целом: чем дороже ИС, тем больше затраты энергии, в частности, ЭЭ, при изготовлении комплектующих у производителя
Отечественное производство источников света	РФ полностью обеспечивала себя ЛН (не только общего назначения, но и специальными), но крупномасштабное – в объемах, требуемых стране – производство КЛЛ и СД (пока) отсутствует
Другие факторы, которые обычно недооцениваются	У КЛЛ – проблемы с демеркуризацией ИС (особенно в «частном секторе»); у СД, помимо разорительной стоимости, проблемы с охлаждением, сроком службы компонентов драйвера и др.

На волне интереса к СД появилось много публикаций о применении СД, в частности, в жилых помещениях [2-4]. Однако нередко публикации

носят чисто маркетинговый характер. Рассмотрим для примера работу [5]; наша оценка дается в табл.2 справа (тонируется).

Таблица 2. Характеристика СД по [5] и количественный анализ данных

Информация в [5]	Комментарий – что на деле
Описаны преимущества при замене ЛОН P=75Вт (ЛОН P=60Вт и 75Вт – пока самые распространенные ИС в жилых домах) на светодиодную лампу «Endura LED A21 17W»:	1. Снижение мощности (не расход электроэнергии, как в [5] ошибочно указано!): $9 \cdot 10^7 \cdot (0,075 - 0,017) = 5,22 \cdot 10^6 \text{ кВт} = 5,22 \text{ ГВт}$.
• лампа за свой срок службы ($\tau=25$ тыс.ч.) экономит у потребителя 160\$ (так в [5]!);	2. Экономия ЭЭ: $5,22 \text{ ГВт} \cdot 1000 \text{ ч/год} = 5,22 \text{ ТВт} \cdot \text{ч/год}$ (в сред. $\Delta P=58 \text{ Вт}$ на лампу).
• при замене всего годового оборота (90 млн. штук в США) "расход ЭЭ снизится на 5220 МВт/год" (так в [4]!), а экономия составит 630 млн.\$/год.	3. Снижение затрат на оплату ЭЭ {при тарифе $q=160[(0,075-0,017) \cdot 25000]^{-1} = \$0,11/\text{кВт} \cdot \text{ч}$: $5,22 \text{ ТВт} \cdot \text{ч/год} \cdot \$0,11/\text{кВт} \cdot \text{ч} = \$576 \text{ млн/год} \neq 630$, указанным в [5] ($\Delta=9\%$ – случайна?)}

3. В заключение сравним ЕСЭ ряда источников:

LED-Endura, ЛЛ (линейных и компактных) и ЛН (табл.3) и мощных СД (табл.4)

Таблица 3. Исходные данные и (тонируются) расчеты стоимости ЕСЭ для $q=\$0,11/\text{кВт} \cdot \text{ч}$

ЛОН P=75 Вт	Endura 17 Вт
Исходные данные для расчета	
$\Phi=1,03 \text{ клм}$; $\tau=1000$ ч (поток и срок службы брались как у российского аналога – БК 75Вт) $\eta_v=1030:75=13,73 \text{ лм/Вт}$; $C=\$1$ (предположительно)	$\Phi=1,1 \text{ клм}$; $\eta_v=1100:17=64,7$ лм/Вт; $C=\$100:17/12=\142 (на основе коммерчески доступной лампы Endura 12 Вт); $\tau=25\ 000$ ч
Расчеты стоимости ЕСЭ по формуле $G=q \cdot \eta_v^{-1} + C(\Phi \cdot \tau)^{-1}$ [6]; итоговое значение G – в рамках	

$G_{\text{ЛОН}} = \frac{0.11}{13.73} + \frac{1}{1.03 \cdot 1000} = \$0.00898 / \text{кЛМ} \cdot \text{ч} =$ $= \$8.98 / \text{Млм} \cdot \text{ч} \text{ ("клеймо энергорасточительно-сти" у ЛН не во всем справедливо)}$	$G_{\text{СД}} = \frac{0.11}{64.7} + \frac{142}{1.1 \cdot 25000} = \$0.00686 / \text{кЛМ} \cdot \text{ч} =$ $= \$6.86 / \text{Млм} \cdot \text{ч} \text{ (т.е. } 0,7G_{\text{ЛОН}}, \text{ а в 2007г. [7] было } G_{\text{СД}}=0,57G_{\text{ЛОН}})$
<p>В качестве "фона" при сравнении возьмем также люминесцентные лампы: у линейных –</p>	
$G = \frac{0.11}{75} + \frac{2.5}{1.35 \cdot 10000} = \$1.65 / \text{Млм} \cdot \text{ч}; \text{ у компактных – } G = \frac{0.11}{66} + \frac{3.3}{1 \cdot 8000} = \$2 / \text{Млм} \cdot \text{ч}$	

Таблица 4. Расчет значений G_{12} «отечественных производителей» (тонируются) и фирмы Cree для мощных белых СД ($q = 1,8-2,2-2,7-3,2-3,6-4,2$, руб/кВт·ч)

Белые СД	Р, Вт	Ф, лм	С _{ис} , руб	η_v , лм/Вт	G_{12} , руб/Млм·ч, при q, равном					
					1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,2
ООО «КТЛ» ($\tau = 35$ тыс.час.) [8]										
КРWH-W080-Z1	1	110	138,2	110	52	56	60	65	68	74
КРWH-W080-Z3	3	195	237,6	65	62,5	69	76	84	90	99
КРWH-W080-Z5	5	300	354,8	60	63,8	70	78	87	93	104
КРWH-1522-7	7	460	492	65,7	58	64	72	79	85	94
ООО «Микроэлектроника» ($\tau = 50$ тыс.час.) [9]										
E12PW6C	1	50	147	50	94,8	103	113	123	131	142
S12N3W6C	3	120	230	40	93,3	93	106	118	128	143
5VAM12DW6C	5	280	658	56	79	86	95	104	111	122
10VAL12HW6C	10	450	1055 ¹⁾	45	86,9	96	107	118	127	140
20VAL12HW6C	20 ²⁾	930	2015	46,5	82	91	101	112	121	134
Cree (обозначения сокращены; $\tau = 50$ тыс.час.) [10]										
XPEWHT-01-00CD2	1,2	107	51,6	89	29	34	40	46	50	57
XPGWHT-L1-00H51	3	138	126,6	46	57	66	77	88	97	110
CXA2011-P00G027F	7	680	430	95	31,5	35	41	46	50	57

Примечания:¹⁾ Реальная стоимость 1219 руб. (отечественная продукция стоит дороже изделий фирмы Cree)

²⁾ В действительности коммерческое предложение отсутствует

Выводы

- По стоимости ЕСЭ лампа Endura 17 Вт предпочтительнее лампы ЛОН 75 Вт, однако, уступает КЛЛ и, тем более, ЛЛЛ ($6,86 > 1,65$).
- Следует отметить быстрое улучшение характеристик СД – рост единичной мощности (на примере Endura) и световой отдачи.
- Низкие, в целом, доходы (большой части) населения не способствуют долгосрочным вложениям в светотехнику.

Список литературы:

- Юнович А. Э. Современное состояние светодиодов и тенденции развития светодиодов и светодиодного освещения // Светотехника. – 2007. - №6. - С. 13-16.
- Полищук А., Туркин А. Перспективы применения светильников со светодиодами для

- энергосберегающего освещения // Энергосбережение. – 2008. – № 2. - С. 52-58.
3. <http://futureled.ru>.
4. Справочник "Светодиодное освещение Philips Electronics" – N.V. – 2010. – с.45.
5. <http://www.k-to.ru>.
6. Никитин В.Д., Матющенко А.А. Сравнение экономических показателей источников света // Тез. докл. VI Междунар. светотехн. конф. Калининград. – 2006. – С.84-85.
7. Дорофеева Д.Ю., Трубоч А.В., Никитин В.Д. Сравнение стоимости ... традиционных и полупроводниковых... // Тез. докл. на научно-техн. конф. «Молодые светотехники России». М.: "ВИГМА". – 2007. – С.15-17.
8. http://www.bright-leds.ru/page-power_led.html
9. http://www.microelectronica.ru/hb/hb_leds_powerw.html
10. <http://www.ylati.ru/index.html>

ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ, ЭКРАНИРОВАННЫХ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКОЙ

Тригуб М.В.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: trigub@tpu.ru

В ряде задач получения и обработки материалов необходимо наблюдение процессов, протекающих в зонах взаимодействия мощных потоков энергии с веществом (лазерная обработка материалов, газоразрядное напыление пленок, модификация поверхности воздействием электронных пучков, облучение биотканей концентрированными потоками энергии), при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС) и т.д. В целом, процессы, протекающие в условиях фоновой засветки, целесообразно визуализировать с использованием лазерных методик неразрушающего контроля. К ним относятся метод лазерной подсветки и системы с усилителями яркости – лазерный монитор, лазерный проекционный микроскоп [1].

Метод лазерной подсветки (рис. 1 а) заключается в следующем: объект наблюдения подсвечивается внешним источником излучения (лазером), отраженный сигнал пропускают через полосовой фильтр и затем фиксируют с помощью регистрирующей аппаратуры. Таким образом, регистрируется объект целиком, либо его значительная часть. Достоинством предлагаемого метода является его простота и возможность «компактной» реализации за счет применения лазеров, обладающих малыми массогабаритными параметрами (например, полупроводниковых).

Второй метод – использование систем с усилителями яркости изображения [2]. На рисунке 1 б представлена схема лазерного проекционного микроскопа (монитора) [3] на основе лазера на парах бромида меди. Принцип действия заключается в следующем: излучение сверхсветимости лазерного усилителя фокусируется на объекте с помощью объектива, отраженный сигнал, а так же излучение фоновой засветки, пройдя через объектив, попадает в активную среду в момент времени, когда еще имеется инверсная населенность. Благодаря этому усиливается только сигнал с длиной волны из спектра генерации используемого лазера. Поэтому на выходе усилителя яркости будет усиленное по яркости изображение объекта, причем цвет изображения соответствует длине волны усилителя яркости.

Каждый из методов имеет ряд преимуществ и недостатков и использование того или иного определяется требуемыми задачами исследования. При использовании метода лазерной подсветки, объект

необходимо освещать достаточно мощным излучением, чтобы уровень сигнала на входе регистратора был выше порога чувствительности. Это может приводить к деструктивному воздействию и исказить реальную картину процесса. К тому же, чем выше уровень фоновой засветки, тем уже должны быть и линия излучения лазера, и полоса пропускания фильтра. В противном случае, изображение будет экранировано от наблюдателя. Это значительно увеличивает стоимость метода. Таким образом, метод лазерной подсветки применим для наблюдения процессов, протекающих в условиях, когда энергия широкополосной экранирующей засветки, приходящаяся на спектр генерации используемого лазера, значительно меньше энергии генерации лазера. Т.е. необходимо использовать более мощный лазер, либо лазер с узкой полосой генерации и высокой спектральной яркостью. В этом случае влияние засветки будет минимальным.

При использовании лазерного монитора (лазерного проекционного микроскопа), как и в обычном микроскопе, наблюдается часть объекта, определяемая используемой оптикой (объектив 1) и апертурой усилителя яркости. Понятие лазерный монитор было введено Климовским И.И. [4] и означает, что наблюдается быстропротекающий процесс, экранированный от наблюдателя фоновой засветкой, в режиме реального времени. В данном методе фильтрация сигнала, формируемого изображения объекта, от фоновой засветки осуществляется самой средой усилителя яркости, которая усиливает достаточно узкий спектральный интервал. Недостатки такого метода аналогичны недостаткам усилителя яркости – большие массогабаритные параметры, низкий КПД лазерного излучения, необходимость времени для выхода на режим, высокие мощности источников накачки и вспомогательного оборудования (нагревателей) – от 600 Вт. Однако на данный момент неизвестно ни одной лазерной среды способной обеспечить подобные параметры.

В работе [1] представлен лазерный монитор с покадровой регистрацией изображения, который позволяет значительно снизить искажения, а также увеличить временное разрешение системы. К тому же, несмотря на то, что экспозиция современных скоростных CCD-камер составляет

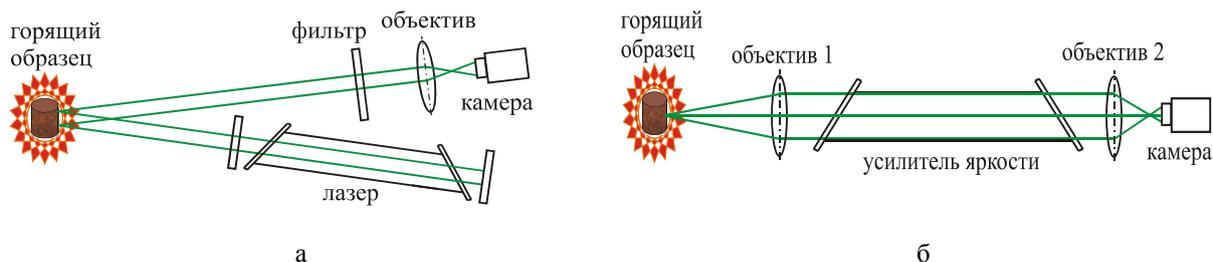


Рис. 1 Наблюдение процессов, экранированных мощной фоновой засветкой

порядка единиц микросекунд, с помощью лазерного монитора объект визуализируется за время сверхсветимости, что оставляет порядка 50 нс. Это так же позволяет снизить искажения наблюдаемого процесса.

Таким образом, лазер на парах меди и, в частности, на парах бромида меди, благодаря своим уникальным «лазерным» свойствам является наилучшим для его использования в оптических методах неразрушающего контроля – лазерной подсветки и активных оптических системах с усилителями яркости.

В работе представлены и сопоставлены результаты использования лазера на парах бромида меди в режиме генератора (лазерная подсветка) и в режиме усилителя яркости (активная оптическая система) с возможностью покадровой регистрации изображения для визуализации процесса СВС различных смесей.

Получены четкие видеоизображения топологии системы в течение всех циклов превращений за счет высокой яркости светового потока, отраженного от поверхности образца, который в выделенном интервале длин волн превосходит интенсивность теплового излучения реакционной волны. Область зрения составляла 5 x 5 мм. Фазовые и структурные состояния системы идентифицировались по различию отражательной способности конденсированных компонентов и по их изменениям в процессе реакции.

Например, при лазерной подсветке металлические капли имеют характерный блеск в отраженных лучах, в то время как формирование пор приводит к уменьшению степени отражения лазерного излучения. Процесс плавления сопровождается переходом частиц в сферическую форму с повышенной отражающей способностью поверхности. Изображения, полученные с помощью лазерного монитора, не уступают по качеству получаемым с помощью лазерной подсветки. Однако согласно оценкам, представленным в работе [5], лазерные мониторы позволяют наблюдать процессы, протекающие при более высоких температурах, что является важным достоинством.

В качестве экспериментальной демонстрации этого проведены эксперименты по визуализации процессов экранированных фоновой засветкой, создаваемой различными источниками сплошного

спектра. Это пламя газовой горелки, с температурой около 1000 К, а так же плазма лазерной дуги, температура которой достигает 10000 К. Показано, что даже подобный уровень засветки не влияет на качество получаемого изображения.

Таким образом, продемонстрирована возможность применения систем на основе лазеров на парах металлов для задач неразрушающего контроля процессов, протекающих в условиях фоновой засветки.

Автор выражает благодарность сотрудникам каф. ПМЭ Торгаеву С.Н., Губареву Ф.А. за помощь в проведении работы, а так же сотрудникам отдела Структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН, г. Томск, за предоставленные образцы СВС структур.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

Литература:

Тригуб М. В. , Евтушенко Г. С. , Губарев Ф. А., Торгаев С. Н. Лазерный монитор с возможностью покадровой регистрации изображений // Контроль. Диагностика. - 2011, Вып. Специальный - С. 140-143.

Пасманик Г.А., Земсков К.И. и др. Оптические системы с усилителями яркости. – Горький: ИПН АФ СССР. 1988. – 173 с.

Земсков К.И., Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г. Лазерный проекционный микроскоп // Квантовая электроника.-1974.-Т. 1. № 1.-С. 14 – 15.

Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жаренова С.В., Климовский И.И., Прокошев В.Г., Шаманская Е.Л. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекло- и пироуглерода // Известия Томского политехнического университета – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97 – 101.

Торгаев С. Н. , Тригуб М. В. , Губарев Ф. А. Оценка возможностей лазерного монитора на парах бромида меди при наблюдении яркосветящихся объектов [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 18-22 Апреля 2011. - Томск: ТПУ, 2011 - Т. 1 - С. 260-262.

СПОСОБ ЗАРЯДА ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО БАЛАНСУ ЭНЕРГИИ

Файбусович А.С., Кожемяк О.А.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: faartem@sibmail.com

В настоящее время в промышленной электронике широко распространены устройства для заряда емкостного накопителя, в качестве которого используется конденсатор, либо батареи конденсаторов. В связи с этим на сегодняшний день очень актуальна задача разработки закона управления силовыми ключами зарядного устройства, обеспечивающего заряд конденсатора до требуемого напряжения заданным током с максимальным быстродействием при отсутствии колебаний и перерегулирования.

Применение уравнения баланса энергии между текущим значением запасенной энергии LC-контуром и ее величиной в установившемся режиме позволяет значительно упростить задачу синтеза системы управления [1].

Рассмотрим реализацию способ управления по балансу энергии на примере импульсного устройства для заряда емкостного накопителя (рис.1).

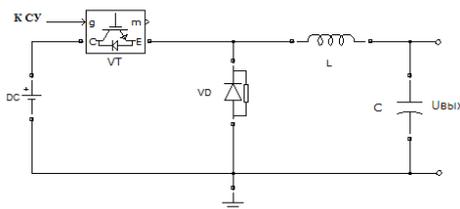


Рисунок 1. Схема зарядного устройства для заряда емкостного накопителя

Текущее значение запасенной LC-контуром энергии:

$$W = \frac{L}{2} i_L^2(t) + \frac{C}{2} U_C^2(t)$$

где $i_L(t)$, $U_C(t)$ - текущее значение тока дросселя и напряжения конденсатора соответственно;

$U_{он}$ - заданное (опорное напряжение); L , C - индуктивность дросселя и емкость конденсатора LC-контура.

Переключение ключевого элемента VT осуществляется по смене знака баланса между текущим значением запасенной LC-контуром энергии и ее величиной в установившемся режиме.

После преобразований закон управления можно представить следующим образом:

$$F_x = \rho^2 i_L^2(t) + (U_C^2(t) - U_{он}^2)$$

$$F_x = \begin{cases} 1 & \text{при } F_x \leq 0; \\ 0 & \text{при } F_x > 0, \end{cases}$$

где $F_x = \frac{2}{C} (W - \frac{C U_{он}^2}{2})$ - сигнал, пропорциональный текущему значению баланса между запасенной энергией LC-контура и его энергией в ус-

тановившемся режиме $\frac{C U_{он}^2}{2}$, $\rho = \sqrt{L/C}$ - характеристическое сопротивление LC-контура;

$U_{он}$ - заданное (опорное) напряжение; F_x - состояние ключа (при $F_x = 1$ включен, при $F_x = 0$ выключен).

При заряде конденсатора постоянным током этапы заряда имеют вид (рис.2):

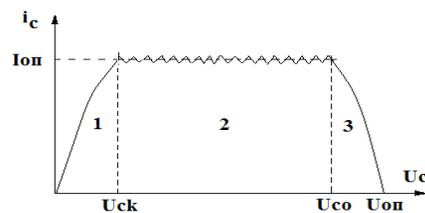


Рисунок 2. Этапы заряда конденсатора

На первом этапе транзистор открыт, напряжение и ток конденсатора растут, используются максимальные ресурсы управления. Как только ток дросселя становится равным заданному опорному

току ($i_L = I_{он}$, $U_C = U_{ск}$ - напряжение, при котором ток дросселя достигает опорного значения), в схеме начинается режим широтно-импульсной модуляции (второй этап). При этом пульсации тока заряда определяются рабочей частотой схемы и индуктивностью дросселя. При напряжении конденсатора, большем напряжения $U_{со}$ ($U_C > U_{со}$), начинается третий этап - подчиненное регулирование тока, при котором в процессе дозаряда конденсатора до опорного напряжения ($U_{он}$) ток заряда уменьшается от опорного тока ($I_{он}$) до нуля.

Переходный процесс имеет минимальную длительность, поскольку на первом этапе используются максимальные ресурсы управления (транзистор открыт).

$$U_{со} = \sqrt{U_{он}^2 - \rho^2 I_{он}^2}$$

Для проверки предложенного метода управления проведено моделирование зарядного устрой-

ства в пакете MATLAB Simulink (рис. 3). Система управления по балансу энергии реализована на схеме, основанной на преобразователе постоянного напряжения понижающего типа. Текущее значение выходного напряжения с зарядного конденсатора и ток дросселя поступают на систему управления. Закон управления ключом реализуется непосредственно по балансу энергии. Сигнал управления ключом является сигналом ШИМ, формируемым в результате сравнения сигнала баланса с сигналом генератора пилообразного напряжения (ГПН) посредством компаратора.

В схеме предусмотрен триггер, синхронизированный с ГПН, для исключения ложных срабатываний транзистора. Сигнал управления поступает на силовой ключ, открывая и закрывая его. Тем самым происходит процесс увеличения или снижения текущего значения накопленной энергии LC-контура.

Диаграммы работы схемы преобразователя представлены на рис.4.

Заключение

1. Предложен способ управления в устройствах для заряда емкостного накопителя, основанный на формировании управляющего воздействия по балансу необходимой и накопленной энергии LC-контура.

2. Проведено моделирование схемы в пакете MATLAB Simulink. Полученные при моделировании диаграммы совпадают с теоретическими, что подтверждает возможность применения данного способ на практике.

3. Управление с широтно-импульсной модуляцией на основе баланса между текущим значением запасенной LC-контуром энергией и ее значением в установившемся режиме позволяет создавать стабильные системы с высоким быстродействием и низкой чувствительностью к изменению внутренних и внешних параметров.

Список литературы

Казанцев Ю.М. Динамика управляемых преобразовательных устройств: учебное пособие / Ю.М. Казанцев – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 116 с.

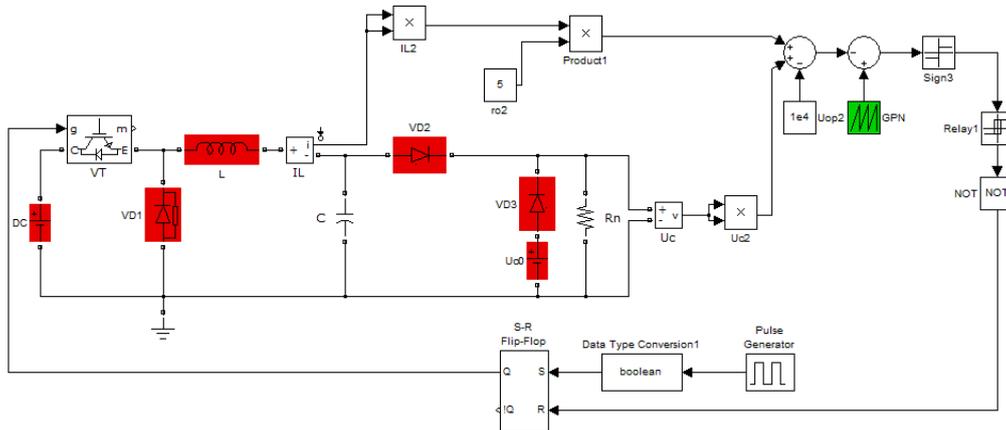


Рисунок 3. Модель зарядного устройства с управлением по балансу энергии

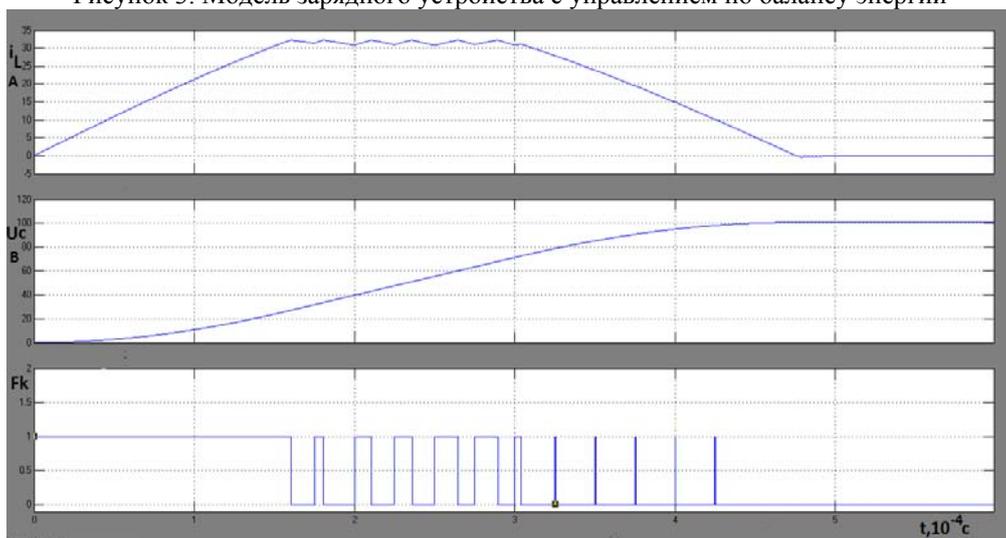


Рисунок 4. Диаграммы работы: 1 – ток дросселя, 2- напряжение конденсатора, 3 – состояние ключа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОЛИТНОГО СУХОГО ЭЛЕКТРОДА СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Файзуллин Р.Р., Иванов Ю.А.

Научный руководитель: Иванов Ю.А., к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, пр.Ленина,30

E-mail: renat_faizullin@mail.ru

Повышение эффективности катодной защиты является одним из основных путей повышения экологической безопасности эксплуатации магистральных нефтегазопроводов. Принцип катодной защиты заключается в том, что на трубопровод подается потенциал поляризации определенного значения [1], при котором ток коррозии, а, следовательно, и сама коррозия на участках трубы с нарушенной изоляцией компенсируется током катодной защиты. Для этих целей через каждые 10 км трубопровода устанавливаются станции катодной защиты (СКЗ), минусовая клемма которой подключена к трубе, а плюсовая заземлена. Из-за омических потерь на грунте потенциал трубы по мере удаления от СКЗ падает и может стать меньше допустимого значения. Поэтому в соответствии с [1] на каждом километре трубопровода для контроля потенциала поляризации должен быть оборудован контрольно-измерительный пункт (КИП). Обязательным элементом КИП является неполяризуемый электрод сравнения, который устанавливается в грунт на глубину до 1,5 м. Электрод обеспечивает контакт измерительной схемы, например, клеммы мультиметра с землей при измерении потенциала катодной защиты. В настоящее время в качестве электрода сравнения используются медносульфатные электроды сравнения (например, типа ЭНЕС в России и CU-DC в Германии). Эти электроды представляют собой сосуд с пористой мембраной, заполненный электролитом, который, просачиваясь через мембрану обеспечивает надежный контакт с грунтом. К недостаткам таких электродов относятся:

- ограниченный срок службы вследствие вытекания электролита, а при увеличении объема электролита неизбежно увеличиваются масса и габаритные размеры электрода;

- хрупкость – так как электрод представляет собой сосуд с жидкостью, то необходимо соблюдать меры предосторожности при транспортировании, хранении и эксплуатации электродов.

- сложность установки – электрод необходимо устанавливать в вырытом шурфе или траншее таким образом, чтобы дно корпуса электрода находилось на уровне нижней образующей трубопровода [2].

В настоящее время трубопроводный парк России для транспорта нефти и газа составляет 220 тыс. км. Согласно [1] на каждом километре магистрального трубопровода должен быть установлен в грунт стационарный электрод сравнения. Но на практике только порядка 40 % магистральных трубопроводов России оснащены электродами

сравнения вопреки требованиям стандарта, что соответственно негативно сказывается на экологической безопасности регионов, по территории которых проходят трубопроводы.

Актуальность работ обусловлена необходимостью обеспечения магистральных трубопроводов надежной и простой системой противокоррозионной защиты, которая позволит решить существующие проблемы.

Для этих целей был разработан новый метод измерения защитного потенциала с использованием безэлектролитного сухого электрода сравнения (СЭС), патент №2376401.

Электрод состоит из корпуса, на торце которого расположен основной электрод, выполненный из пористой нержавеющей стали, вспомогательного электрода из гладкой нержавеющей стали и датчика коррозии из трубной стали. Внутри корпуса расположены литиевая батарейка и токоограничивающий резистор, необходимые для создания тока наводороживания.

При установке электрода в грунт его внутренняя цепь замыкается сопротивлением грунта. При этом в цепи электрода возникает постоянный ток, под действием которого из прилегающей к электроду влаги начинает выделяться водород. По мере насыщения пор основного электрода водородом его потенциал достигает своего стационарного значения.

Внешний вид электрода СЭС изображен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид электрода

Для исследования возможности использования разработанного электрода были проведены лабораторные и трассовые испытания опытных образцов, целью которых было определение стабильности собственного потенциала электродов и определение времени выхода на рабочий режим.

В лабораторных испытаниях использовались четыре электрода СЭС. Измерения проводились относительно образцового хлорсеребряного электрода. На рисунке 2 представлен график зависимости собственного потенциала электродов от времени.

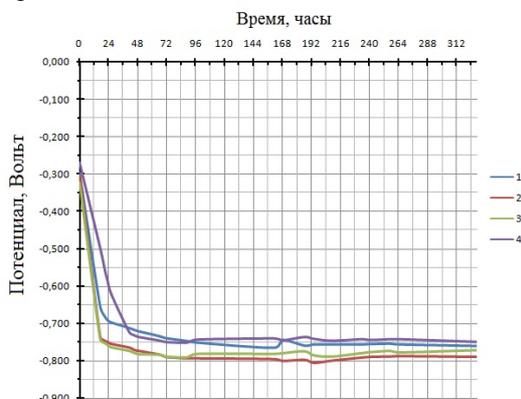


Рис. 2. Потенциалы электродов при лабораторных испытаниях

Из графика видно, что электроды ведут себя практически одинаково и через 72 часа выходят на рабочий режим. Нестабильность каждого электрода не превышает ± 5 мВ. Отклонения между электродами, составляющие порядка ± 20 мВ, обусловлены технологией изготовления и в дальнейшем могут быть минимизированы посредством отработки технологии и автоматизации процесса производства.

Трассовые испытания проводились на действующем магистральном газопроводе. На КИП были установлены два электрода СЭС. График зависимости собственных потенциалов электродов от времени представлен на рисунке 3.

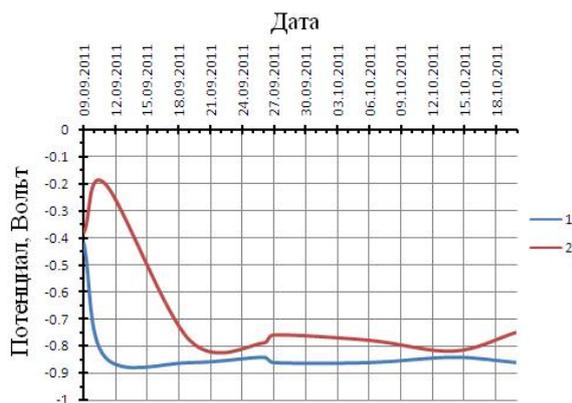


Рис. 3. Потенциалы электродов при трассовых испытаниях

В реальных условиях эксплуатации на трубопровод действует множество факторов, таких как влажность, кислотность грунта, время года, блуждающие токи. Поэтому невозможно добиться точного соблюдения параметров электрохимической защиты, регламентированных [1,2].

В результате действия перечисленных факторов время выхода электродов на рабочий режим увеличилось и составило порядка 7 суток. Однако, этот параметр не является критичным, так как электроды предполагают стационарную установку и длительное использование в течение срока службы трубопровода (десять лет).

После выхода на рабочий режим погрешность электродов составила ± 25 мВ, что сопоставимо с результатами лабораторных испытаний.

В результате исследований было установлено, что электроды СЭС не уступают по точности медносульфатным электродам, имеющим погрешность порядка ± 20 мВ (в зависимости от модели). При этом электроды СЭС обладают несомненными преимуществами:

- простота установки – для установки электрода не требуется рыть шурф. Электрод может размещаться на конце зонда и непосредственно вводиться в грунт;
- механическая прочность – электрод не имеет хрупких элементов конструкции;
- долговечность – вследствие отсутствия электролита.

Использование разработанных электродов позволит существенно улучшить качество электрохимической защиты магистральных трубопроводов и следовательно, повысить экологическую безопасность.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. – Введ. 1999-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1998. – 48 с.
2. ГОСТ 9.602-2005. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – Взамен ГОСТ 9.602-89; Введ. 2007-01-01. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2006. – 59 с.
3. Иванов Ю.А, Назаров Б.Ф. Способ измерения поляризационного потенциала подземного металлического сооружения и устройство для его реализации (варианты). Патент №2376401. Дата регистрации 20 декабря 2009

ПОЛУЧЕНИЕ ДЛИННОГО ИМПУЛЬСА ГЕНЕРАЦИИ В ЛАЗЕРАХ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

Федоров К.В., Губарев Ф.А., Федоров В.Ф.

Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: Fedorovkv@sibmail.com

К настоящему времени лазерам на парах металлов (ЛПМ), в частности лазерам на парах меди посвящено множество работ, и традиционно наиболее актуальным направлением считается повышение эффективности генерации лазера: как КПД генерации в целом, так и доли излучения с минимальной (дифракционной) расходимостью, т.е. качества пучка.

Одним из существенных факторов, влияющих на качество пучка ЛПМ, является большая расходимость излучения, связанная с короткой длительностью генерации (10–20 нс). В работе [1] показано, что для существенного увеличения направленности излучения необходимо сформировать такой импульс возбуждения, чтобы начальный участок импульса генерации представлял собой «полку» с минимальной амплитудой и длительностью, требуемой для формирования пучка с дифракционной расходимостью. Таким образом, доля энергии, которая пойдет на формирование дифракционно направленного пучка будет минимальная.

Увеличение длительности импульса генерации и изменение его формы могут быть достигнуты при снижении энерговклада за счет ограничения тока, особенно скорости его нарастания. Подобный режим был реализован в работах [1–3]. В работе [2] разрядный ток снижался путем уменьшения накопительной емкости (рис. 1, а), а в работах [1, 3] ток ограничивался с помощью таситрона, включенного последовательно в разрядный контур (рис. 1, б). Переключение на малую рабочую емкость на короткое время давало увеличение физического КПД генерации в 9 раз [2].

Путем затягивания переднего фронта импульса тока в работе [3] была получена рекордная длительность импульса генерации ~230 нс по основанию (рис. 2) в трубках диаметром активной зоны 7 и 10 мм, длиной 30 и 50 см. Увеличение длительности генерации в режиме ограничения тока происходит за счет поддержания на высоком уровне напряжения на разрядном промежутке. Для ограничения разрядного тока использовался таситрон ТГУ1-5/12, управление проводимостью которого осуществлялось путем изменения как напряжения смещения на сетке прибора, так и напряжения накала генератора водорода.

Для формирования импульса генерации сложной формы наиболее подходящей является схема с использованием составного коммутатора, состоящего из последовательно включенных тиратрона и таситрона (рис. 1, б). В работе [1] использовался коммутатор, состоящий из тиратрона ТГИ1-270/12 и таситрона ТГУ1-27/7, управление которым осу-

ществлялось путем изменения величины отрицательного напряжения смещения на сетке.

Увеличение (по модулю) напряжения на сетке таситрона приводило к уменьшению энергии в начале импульса генерации в течение некоторого времени. Затем излучалась основная энергия генерации. В результате увеличивалось количество энергии, излучаемой в дифракционно направленном пучке. Форма импульсов генерации в различных режимах управления импульсом накачки приведена на рис. 3. Показано, что увеличение смещения на сетке таситрона от 0 до -240 В приводит к увеличению доли излучения в дифракционно направленном пучке с 28 до 83%.

Применение режима управления формой импульса генерации ЛПМ может найти применение в ряде практических задач. Одной из таких задач является микрообработка материалов. Традиционно получение пучка с малой расходимостью связано с применением неустойчивых резонаторов и, как следствие, с существенными потерями в мощности генерации и КПД.

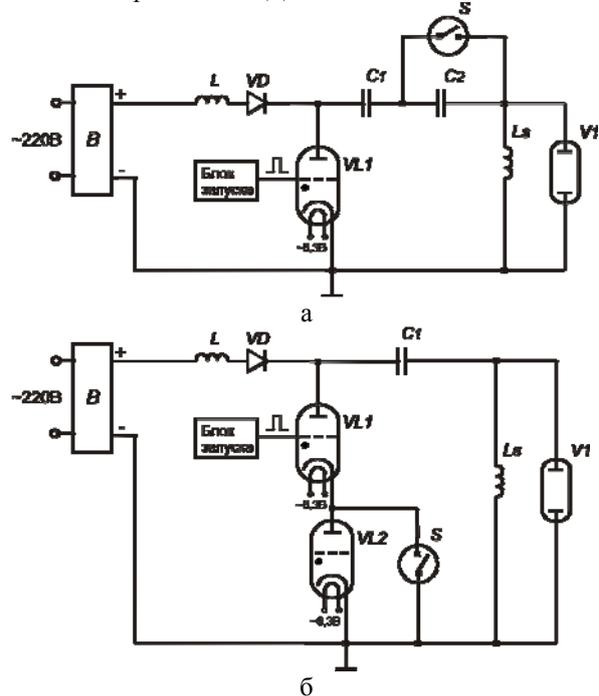


Рис. 1. Схемы накачки лазеров на парах меди с пониженным энерговкладом в разряд: V1 – ГРТ, VL1 – тиратрон, VL2 – таситрон, S – вакуумное реле, C1 – накопительная емкость, C2 – дополнительная (малая) емкость, L-VD – схема резонансного заряда рабочей емкости, Ls – шунтирующая индуктивность.

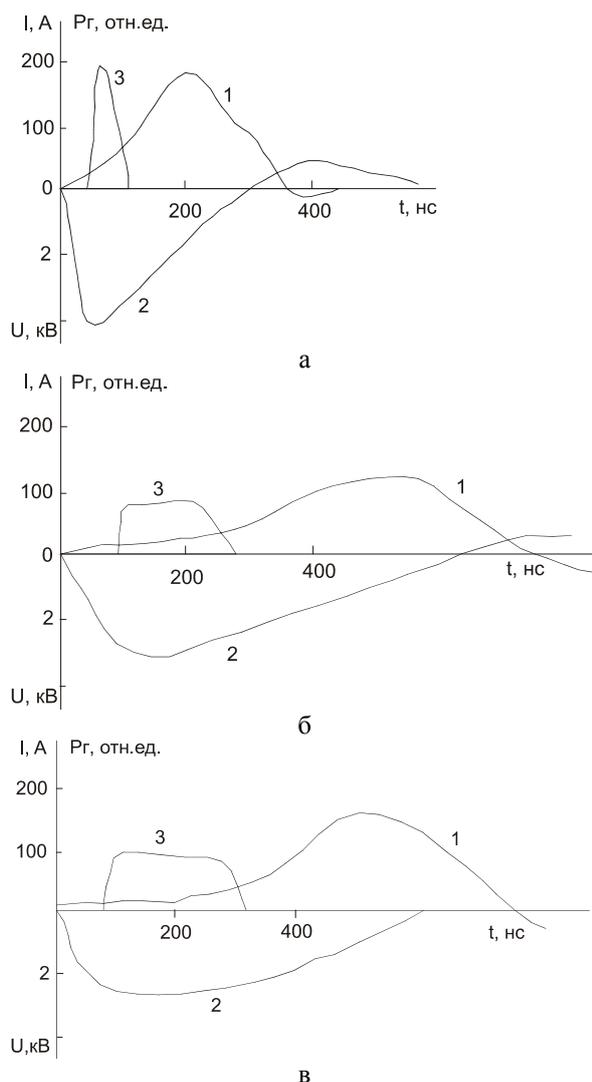


Рис. 2. Изменение длительности генерации в режиме ограничения тока разряда. 1 – ток, 2 – напряжение, 3 – генерация

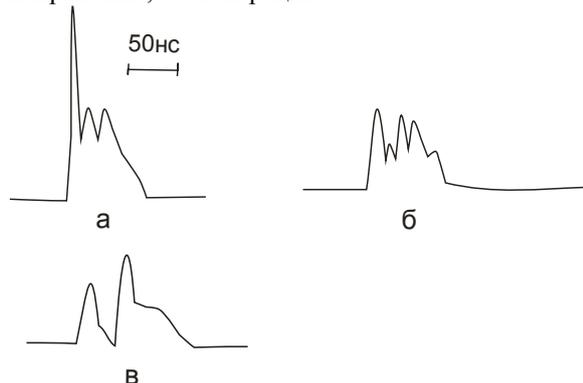


Рис. 3. Осциллограммы импульсов генерации в обычном режиме (а) и в режиме ограничения тока при напряжении на сетке 180 В (б), 210 В (в)

Другим примером является накачка лазеров на красителях излучением ЛПМ, для которых полка на переднем фронте генерации ЛПМ позволяет ограничить ширину спектра. В работе [1] при использовании режима управления формой импульса

генерации ЛПМ получено трехкратное сужение спектра генерации лазера на красителе.

Представленные выше результаты являются первыми в части получения длинного импульса, но, к сожалению, они до настоящего времени не получили развития. Следует также отметить, что все они посвящены изучению лазера на парах чистой меди.

Лазеры на парах бромида меди имеют преимущества по сравнению лазерами на парах меди, которое заключается в более низкой рабочей температуре, что позволяет упростить и удешевить конструкцию активного элемента. Кроме того, разработанная и используемая в Институте оптики атмосферы СО РАН в последнее время конструкция активного элемента CuBr-лазера с внешним нагревом, позволяет разделить функцию нагрева и возбуждения активной среды [4]. Это позволит обеспечить более точное управление импульсом генерации по сравнению с саморазогревным режимом, а, следовательно, увеличить качество пучка. Поэтому целью дальнейшей работы мы поставили реализацию режима ограничения тока в CuBr-лазере.

В лазерах на парах галогенидов металлов, работающих в импульсно-периодическом режиме с высокой частотой следования импульсов, импульс накачки осуществляет и диссоциацию молекул галогенида (бромида меди). Поэтому интересной могла бы стать задача получения длинного импульса в режиме одиночных импульсов или импульсов, следующих с низкой частотой (десятки-сотни герц). Реализацию такого режима мы планируем с использованием сдвоенных импульсов: сильноточного диссоциирующего и слаботочного с управляемой формой.

Кроме увеличения длительности импульса генерации применение режима ограничения разрядного тока должно дать увеличение эффективности генерации CuBr-лазера и позволит достичь максимального физического КПД, аналогичного лазеру на парах чистой меди (4–9 %) [5].

Литература:

1. Солдатов А.Н., Суханов В.Б., Федоров В.Ф., Юдин А.Н. Исследование лазера на парах меди с повышенным кпд // Оптика атмосферы и океана. – 1995. – Т.8. – № 11. – С. 1626–1636.
2. Губарев Ф.А., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Федоров В.Ф. Работа лазера на парах меди в режиме пониженного энерговклада в разряд // Известия Томского Политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 6. – С. 66–69.
3. Способ возбуждения лазеров на парах химических элементов: А.с. № 276227. Егоров А.Л., Евтушенко Г.С., Федоров В.Ф. Заявка № 3176023, приоритет от 13.07.1987, зарегистр. 01.07.1988.

ВРЕМЯ СРАБАТЫВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ЛИМИТЕРА НА БАЗЕ НАНОЧАСТИЦ

Харенков В.А., Едреев И.А., Красилов М.Н.

Научный руководитель: Землянов Ал.А., к.ф.-м.н., зав. лабораторией СФТИ ТГУ
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36

E-mail: kharenkof@yandex.ru

Коллидные растворы (КР) металлов, представляющие собой жидкость со взвешенными металлическими наночастицами, привлекают устойчивый научный интерес благодаря своим уникальным оптическим свойствам, отличным от характеристик как сплошного металла, так и чистой жидкости [1,2]. КР обладает ярко выраженной оптической нелинейностью, проявляющейся при достаточно низких плотностях мощности падающего лазерного излучения (≈ 1 Вт/см²) [2] и приводящей к появлению зависимости показателя преломления КР от интенсивности световой волны. Это является причиной пространственной фазовой и амплитудной самомодуляции лазерного пучка при прохождении через коллоидную среду и реализации различных нелинейно-оптических эффектов, в частности тепловой дефокусировки и оптического ограничения [3,4,5]. Последний из этих эффектов интересен тем, что позволяет создавать оптические устройства, которые беспрепятственно пропускают свет малой интенсивности, но кардинально ослабляют высокintenсивное излучение, что важно, например, для защиты фотосенсорных компонентов [6].

Физическим принципом работы оптических ограничителей (лимитеров) с использованием КР является эффект самонаведенной тепловой линзы, возникающей в поглощающей композитной среде за счет её нагрева излучением [7]. Коллоидные частицы, обладая поглощением на несколько порядков величины больше, чем жидкая основа, выступают в качестве распределенных (по объему) источников тепла, существенно снижая энергетический порог проявления эффекта тепловой рефракции излучения. Тепловая линза перераспределяет световые потоки по сечению пучка, приводя к так называемой самодифракции излучения и формированию системы дифракционных колец в дальней зоне [7]. Изучению структуры этой дифракционной картины (ДК), её зависимости от мощности лазерного пучка посвящен ряд работ [3,5]. Однако, ряд важных вопросов, в частности о переходных стадиях развития ДК, рассмотрен не был. В данной статье приведены результаты наших экспериментальных исследований дифракционной картины, создающейся на экране при прохождении маломощного лазерного пучка через кювету с КР с целью определения временной динамики установления устойчивой ДК.

Излучение непрерывного твердотельного лазера LCS-DTL-317 ($\lambda=532$ нм, максимальная мощность $P=20$ мВт, диаметр пучка 1 мм, угловая расходимость пучка 0,6 мрад) направлялось на кюве-

ту с КР, после чего производилась регистрация проекций пучка на экране фотоаппаратом Nikon D3000 и видео камерой GZ-MG275E. Расстояние от кюветы до экрана составляло 8 м (рис. 1).

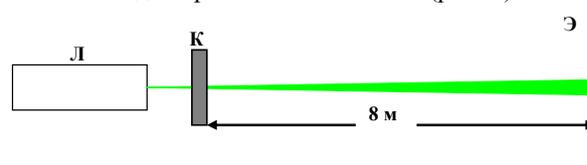


Рис.1. Схема наблюдения дифракционной картины: Л – твердотельный лазер LCS-DTL-317; К – кювета с КР; Э – экран

Наночастицы различных материалов (Ag, Al, Cu, Ni, Zn, TiO₂), разных размеров и разной степени агломерации взвешивались в этаноле, ацетоне, глицерине и дистиллированной воде в кюветах различной толщины. Типичные регистрируемые ДК лазерного пучка, прошедшего кювету с КР, показаны на рис. 2.

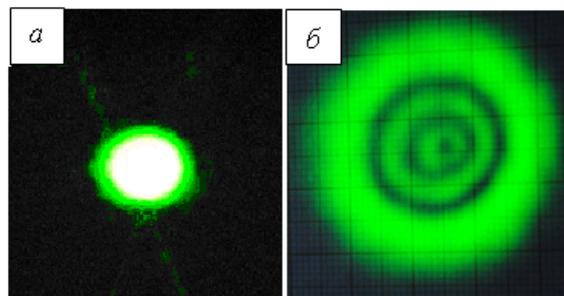


Рис.2. Типичные проекции лазерного пучка, прошедшего: а – чистый глицерин, б – глицерин с наночастицами Ag (размером ≈ 10 нм)

Отметим, что в условиях эксперимента распределение интенсивности излучения в виде колец не наблюдалось при облучении кювет со всеми видами наночастиц, взвешенными в воде, а также для частиц с размерами выше 5 мкм.

Важно отметить тот факт, что при увеличении мощности падающего излучения диаметр дифракционной картины возрастал линейным образом во всем диапазоне изменения мощности падающего излучения. Зависимость диаметра дифракционной картины от мощности падающего излучения показана на рис. 3.

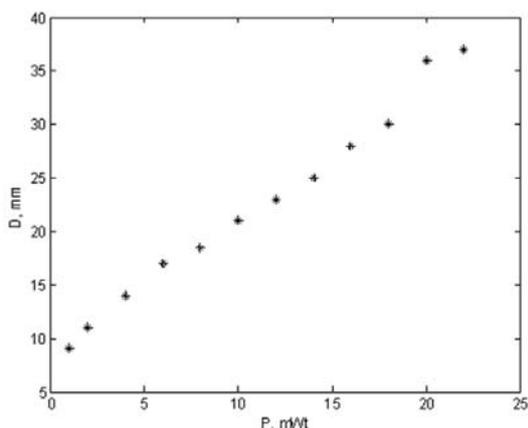


Рис.3. Зависимость диаметра ДК от мощности падающего излучения

На рис. 4 представлена зависимость интенсивности излучения прошедшего кювету с чистым глицерином (1) и с наночастицами Ag в глицерине (2) от мощности падающего на неё излучения. Мощность лазерного излучения изменялась от 1 мВт до 22 мВт.

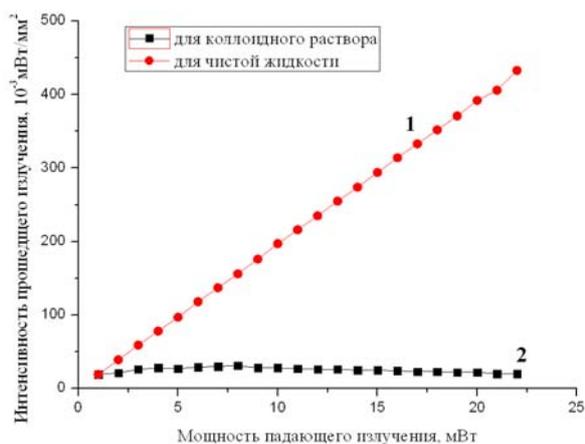


Рис.4. Зависимость интенсивности излучения, прошедшего кювету с чистым глицерином (1) и с наночастицами Ag в глицерине (2) от мощности падающего излучения

Из данного графика видно, что при прохождении излучения через кювету с КР интенсивность прошедшего излучения остается практически неизменной, в то время как интенсивность излучения, прошедшего через кювету с чистым глицерином изменяется более чем на порядок. Это прямо говорит об эффективной работе рассмотренного типа ограничителя (лимитера) интенсивности излучения.

Поскольку в основе работы рассмотренного ограничителя лежит эффект тепловой самодефокусировки лазерного пучка, который по своей природе является инерционным, одной из важных задач в изучении данного типа ограничителей явля-

лось измерение времени установления стационарной ДК.

Наблюдения показывают, что динамика установления ДК состоит в следующем: первоначальная проекция лазерного излучения прошедшего кювету с КР последовательно преобразуется в систему колец в течении нескольких секунд, с постепенным нарастанием числа колец и увеличением диаметра внешнего кольца. Эволюция проекционной картины на экране изображена на рис. 5.

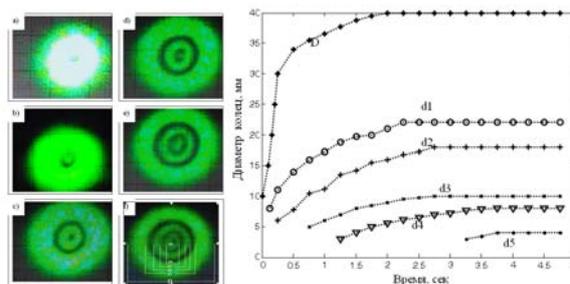


Рис.5. Временное развитие проекционной картины

Таким образом, рассмотренный тип лимитера на базе коллоидных растворов наночастиц металлов обладает значительным динамическим диапазоном ограничения по интенсивности лазерного излучения и временем установления порядка единиц секунд.

Литература:

1. Кавецкая И.В., Волашина Т.В., Капананский В.А., Красовский В.И. Оптические свойства наночастиц золота // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 53-57.
2. Ganeev R.A., Rysnyansky A.I., Kamalov Sh.R., Kodirov M.K., Usmanov T. Nonlinear susceptibilities, absorption coefficients and refractive indices of colloidal metal // J. Phys. D. – 2001. – V. 34, N 11. – P. 1602-1611.
3. Deng L., He K., Zhon T., Li C. Formation and evolution of far-field diffraction patterns of divergent and convergent Gaussian beams passing through self-focusing and self-defocusing media // J. Opt. A. – 2005. – V. 7, N 8. – P. 409-415.
4. Nascimento C.M., Alencar M., Chavez-Cerda S., Sitva M., Meneghetti M.R., Hichmann J.M. Experimental demonstration of novel effects on the far-field diffraction patterns of Gaussian beam in Kerr medium // J. Opt. A. – 2006. – V. 8, N 11. – P. 947-951.
5. Mao Z., Qido I., He F., Liao Y., Wang C., Cheng Y. Thermal-induced nonlinear optical characteristics of ethanol solution doped with silver nanoparticles // Chin. Opt. Lett. – 2009. – V. 7, N 10. – P. 949-952.
6. Ono H., Kawatsuki N. Controllable optical intensity limiting of a He-Ne laser with host-guest liquid crystals // Opt. Commun. – 1997. – V. 139, N 1-3. – P. 60-62.
7. Gordon J.P., Leite R.C., Moore R.S., Proto P.S., Winnery J.R. Long transient effects in laser with inserted liquid samples // J. Appl. Phys. – 1965. – V. 36, N 1. – P. 3-8.

СКВАЖИННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕЗИСТОРОВ

Харитонов М.С.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: Mihailsergx1@mail.ru

Большой объём строительства горизонтальных и наклонно - направленных скважин, обусловил увеличение количества и разнообразия используемых при проводке скважин телеметрических навигационных систем. Построение траектории забоя скважины или ствола уже пробуренной скважины производится на основании замеров угла наклона и азимута на забое или по стволу скважины. Для измерения угла наклона достаточно использовать трёхосный акселерометр, который измеряет проекции ускорения свободного падения g на три взаимно перпендикулярные пространственные оси. Для измерения азимута обычно используется трёхосный феррозонд, который, по аналогии с акселерометром, измеряет проекции напряженности магнитного поля земли на три взаимно перпендикулярные пространственные оси. На основании этих данных, после соответствующих вычислений, получают значение азимута и угла наклона в любой точке ствола скважины и его пространственную траекторию. Очевидно, что таким способом траектория строится в магнитных координатах, поскольку азимут скважины отсчитывается от направления на магнитный полюс Земли. Погрешность таких «магнитных» навигационных систем сильно зависит от наличия вблизи датчиков феррозонда магнитных масс, например бурильных труб, обсадных колонн и т.п., и в ряде случаев может быть недопустимой. В этих случаях для измерения азимута скважины необходимо использовать гироскоп, показания которого не зависят от напряженности магнитного поля Земли [1].

На данный момент существует множество скважинных систем ориентации. Для анализа парамет-

ров существующих на сегодняшний день инклинометров был произведен обзор. Полученные результаты отображены в таблице 1.

В обзоре были рассмотрены два основных типа инклинометров магнитометрические и гироскопические. Гироскопические инклинометры ограничены в применении и используются только для контроля пробуренных скважин.

По приведенным данным можно сказать, что гироскопические инклинометры обладают более высокой точностью, но меньшей рабочей температурой. Габариты рассмотренных типов приблизительно равны. Минимальный диаметр составляет 32 мм. В настоящее время минимальные диаметры скважин лежат в пределах 15-26 мм [2].

Очевидно, что общей тенденцией развития современной инклинометрии является стремление к реализации непрерывного режима в приборах малого диаметра. Но на данный момент в мире существует лишь несколько образцов, серийно выпускаемых инклинометров, которые в полной мере реализуют данную тенденцию. Среди российских образцов можно отметить ИГН-73, который работает в непрерывном режиме, но имеет большой диаметр и устаревшую компоновку. Среди наиболее перспективных отечественных разработок готовых к серийному производству можно отметить инклинометр УГИ 42.

Целью настоящей работы является исследование возможности использования в качестве чувствительных элементов магниторезистивных датчиков обладающих малыми габаритами, относительно невысокой стоимостью и при этом высокой чувствительностью.

Таблица 1. Обзор существующих инклинометров

Тип	Модель	Основные характеристики			
		Габариты, мм	Погрешность измерения зенитного угла, град	Погрешность измерения азимута, град	Максимальная рабочая температура, °С
Магнитометрический	Кварц -32.03	Ø32×1450	± 0,2	± 1,5	+150
	ИММН 60-120	Ø60×1500	± 0,2	± 2	+125
	ИМН-Н76	Ø76×2600	± 0,2	± 2	+150
	ИМНК-36	Ø36×1400	± 0,2	± 2	+105
Гироскопический	ИГМ 73 М	Ø 73 × 2100	± 0,1	± 2	+120
	УГИ-42	Ø 42 × 1690	± 0,1	± 1,4	+105
	МИГ-42	Ø 42 × 1400	± 0,2	± 1,5	+85
	ИГМ-36С	Ø 36 × 1300	± 0,2	± 1,5	+85

Использование таких датчиков позволит создать скважинную систему, ориентации отвечающую всем современным требованиям.

Для оценки возможности создания проектируемой системы была проанализирована элементная база, необходимая для построения устройства. Особое внимание было уделено магнитным датчикам на основе магниторезисторов, так как они являются ключевым элементом данной работы. Результаты анализа отображены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики магниторезисторов

Исходя из приведенных данных, можно сказать, что усредненные габариты магниторезистив-

Модель	Характеристики		
	Габариты, мм	Чувствительность, мВ/Гаусс	Рабочие температуры, °С
НМС100 1	10x1,5x7	3,2	-55..150
НМС150 1	5x4x1,2	2,1	-40..85
НМС102 1	4,9x6x1,5	1,0	-55..150
КМЗ41	4x6x1,5	2,5	-40..150

ных датчиков приблизительно равны 5x6x1,5 мм. Такие конструктивные параметры удовлетворяют современным требованиям. Рабочая температура таких датчиков лежит в пределах от -55 до +150 градусов Цельсия. При этом датчики позволяют измерять самые слабые магнитные поля от 30 мкГаусс. Так как напряженность магнитного поля Земли приблизительно равна 0,5...0,6 Гаусс, то можно сказать, что чувствительности датчиков будет вполне достаточно для измерения магнитного поля Земли и создания на их базе скважинной системы ориентации.

Габариты акселерометров и микропроцессоров лежат в тех же пределах что и магниторезистивные датчики. Компонентный эскиз платы чувствительных элементов и возможные габариты приведены на рис.1.

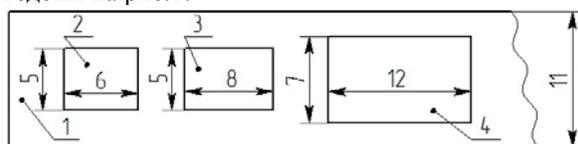


Рис.1. Плата чувствительных элементов скважинной системы ориентации:

- 1 – плата для размещения чувствительных элементов,
- 2 – магниторезистивный датчик,
- 3 – акселерометр,
- 4 – микроконтроллер.

Эскизная компоновка платы показывает, что использование элементной базы, обладающей такими малыми габаритами, обеспечивает создание

инклинометра с минимально требуемым на сегодняшний день диаметром охранный кожуха.

Принципиальная схема проектируемого устройства (рис.2) включает в себя скважинный и наземный прибор, которые связаны между собой посредством телеметрии.

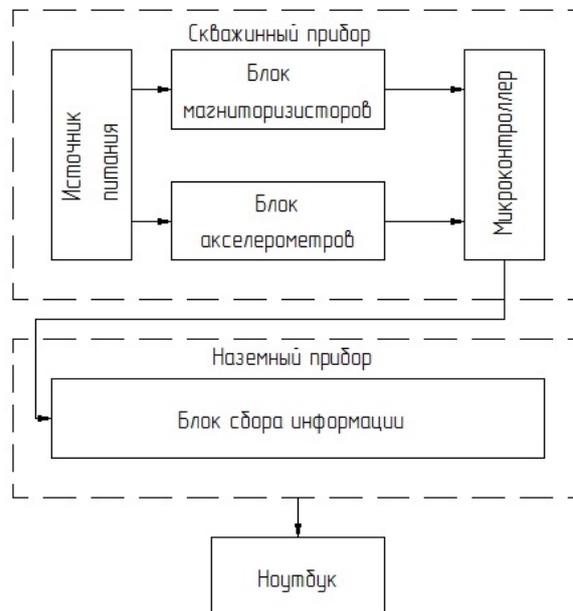


Рис.2. Принципиальная схема системы

Средства телеметрии позволяют осуществлять беспроводную связь между скважинным и наземным оборудованием, что в свою очередь дает возможность использовать скважинный прибор непрерывно на протяжении всего процесса бурения.

Таким образом, современная элементная база, современные средства передачи и обработки информации позволяют создать скважинную систему ориентации, которая будет отвечать всем упомянутым выше требованиям. Следовательно, выполнение научно-исследовательской опытно-конструкторской работы по данной теме может дать положительный результат, а сама система ориентации найдет применение во многих отраслях народного хозяйства.

Список литературы:

1. <http://www.ntkurs.ru/Stat/stat1.pdf> (дата обращения 15.02.12)
2. <http://www.ziv.ur.ru/?news=2> (дата обращения 16.02.12)
3. <http://www.sensorica.ru/d6-1.shtml> (дата обращения 16.02.12)
4. <http://www.chipdip.ru/catalog/magnetic-field-sensor.aspx> (дата обращения 17.02.12)
5. http://fppo.ifmo.ru/kmu/kmu6/ВЫПУСК_2/Мехатроника_сд/7_Соколов_V_S.pd (дата обращения 17.02.12).

ЭТАЛОННАЯ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМАЯ МЕРА ОСЛАБЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО ТИПА

Чебуренко Д.С.

Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: denleader@mail.ru

Индуктивные делители напряжения (ИДН) [1] широко используются в качестве меры ослабления в автоматизированных установках для измерения ослабления аттенюаторов, магазинов затухания, коэффициента преобразования пассивных и активных масштабных преобразователей [2]. Такие установки часто применяют и при проведении исследований точностных характеристик аналоговых и цифровых вольтметров, а также преобразователей формы информации – аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифроаналоговых преобразователей (ЦАП).

Для того, чтобы произвести поверку и калибровку современных аттенюаторов с ослаблением до 120 дБ, АЦП и ЦАП с разрядностью более двадцати требуются двоичные ИДН с большим числом разрядов или декадные индуктивные делители с числом декад не менее семи.

Томским политехническим университетом совместно с ВНИИФТРИ разработан программно-управляемый семидекадный ИДН (ПИДН) типа ДИП-2011 (рис.1) в рамках создания Государственного первичного эталона ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот до 178 ГГц, включенный в состав анонсированной ранее автоматизированной измерительной установки [2].



Рис.1. Внешний вид ПИДН

В состав ПИДН входят две подсистемы – аналоговая и цифровая (рис.2). Аналоговая подсистема в соответствии со значением коэффициента передачи, устанавливаемым цифровой подсистемой, производит деление входного напряжения. Аналоговая подсистема состоит из многодекадного автотрансформаторного ИДН (АИДН), модуля релейной коммутации (МРК) и модуля электронных ключей (МЭК). Цифровую подсистему образуют: модуль микроконтроллерного управления (ММУ), модуль клавиатуры (МК), модуль управления индикаторами (МУИ), модуль индикации (МИ) и интерфейсный модуль (ИМ).

Коммутация отводов АИДН осуществляется контактами электромагнитных реле, входящих в МРК. В свою очередь коммутация обмоток реле производится электронными ключами МЭК. Управ-

ляющие сигналы на вход МЭК поступают от ММУ. Последний позволяет работать ПИДН в двух режимах – *местное* и *дистанционное*. В первом режиме посредством МК устанавливается требуемое значение коэффициента передачи и индицируется на МИ. Семисегментный код на цифровые индикаторы поступает от МУИ. В *дистанционном* режиме коэффициент передачи задается при помощи ЭВМ на верхнем уровне. Связь микроконтроллера с ЭВМ осуществляется по интерфейсу *USB* посредством ИМ.

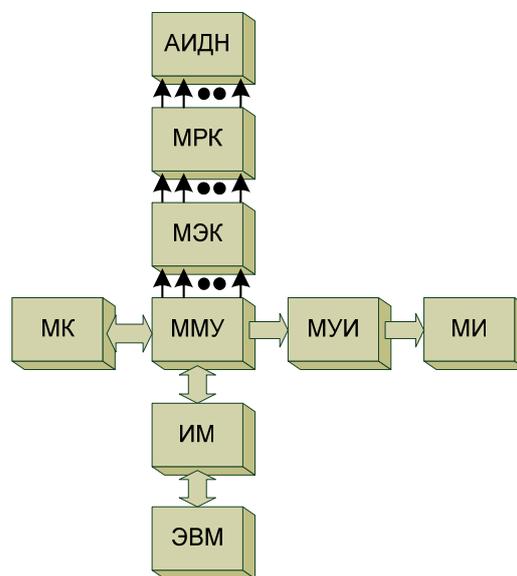


Рис.2. Структурная схема ПИДН

АИДН представляет собой семидекадный ИДН автотрансформаторного типа, выполненный по четырехкаскадной схеме. Первый каскад представляет собой однодекадный делитель, последующие – двухдекадные ИДН.

Чтобы увеличить точность измерений каждый декадный делитель выполнен по двухступенчатой технологии [1], при которой используются два тороидальных ферромагнитных сердечника $TV1$, $TV2$ (рис.3), соосно расположенных. На первом сердечнике жгутом намотана намагничивающая обмотка $L1$. При этом использован жгут из двух равномерно скрученных проводов, соединенных согласно и последовательно. Таким образом, намагничивающая обмотка представляет собой бинарный делитель [1].

В АИДН использованы кольцевые сердечники ГМ32ДС размеров $70 \times 40 \times 20$ мм.

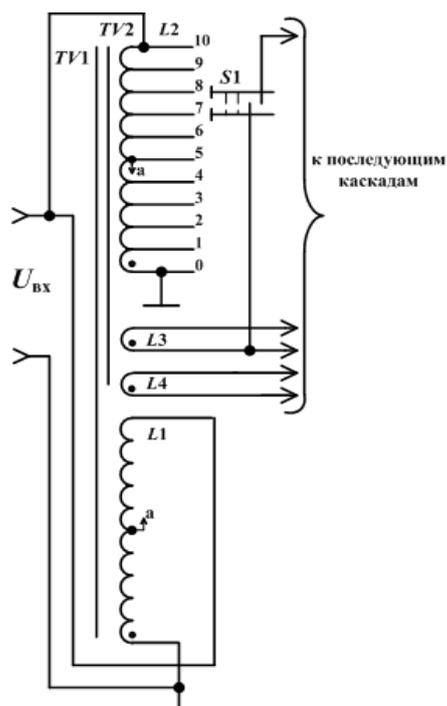


Рис.3. Принципиальная схема декадного ИДН с самопроверкой

Первый сердечник с намагничивающей обмоткой помещен в латунный тороидальный экран со щелью (на рисунке не показан). Декадная делительная обмотка L_2 выполнена одиннадцатипроводным жгутом, намотанным на оба сердечника. Из десяти проводов этого жгута, соединенных согласно и последовательно, образована собственно рабочая делительная обмотка, а из одиннадцатого провода – опорная обмотка L_3 . Последняя и используется при проведении самопроверки декады. Кроме этого на сердечниках намотана обмотка связи L_4 , изолированным проводом равномерно по периметру, соединенная с обмоткой намагничивания последующего каскада.

Коммутация отводов декад осуществляется контактами реле $TQ2-5v$ (упрощенно на рис.3 показаны в виде многопозиционного переключателя $S1$). Обмотки реле включены в выходные цепи транзисторных оптронов $TLP127$. Реле входят в состав МРК, оптроны - в МЭК.

Для правильной работы делителя соблюдается следующее соотношение числа витков обмоток: $w_1 = w_2 = 10w_3 = 10w_4$.

Заметим, что средний (пятый) отвод рабочей обмотки соединен со средним отводом намагничивающей обмотки L_1 . В отличие от известных двухступенчатых ИДН, данный делитель выполнен по технологии ИДН с симметрирующей обмоткой [1, 3]. Такой делитель обладает меньшим выходным импедансом, не уступая по точности.

Расчетно-экспериментальным методом опорного потенциала осуществляется самопроверка декад АИДН [4]. При этом для измерения разностных напряжений секций делительной и опорной обмоток используется дифференциальный нановольтметр ДУ-2010 с чувствительностью 10 нВ [5].

Возможны два режима работы ПИДН: «Проверка» и «Работа».

В первом режиме осуществляется покаскадная самопроверка каждой декады в ненагруженном режиме, т.е. когда отключены последующие. В режиме «Работа» возможна проверка делителя и в комплектном включении.

В цифровой подсистеме использованы микроконтроллер *Atmega 128* и программируемая логическая схема *EPM3512AQC208* (в модуле микроконтроллерного управления), преобразователь интерфейса *FT232RL* (в интерфейсном модуле), цифровая клавиатура *AK304NWWB* (в модуле клавиатуры), преобразователь кода *74LS247DW* (в модуле управления индикаторами) и индикаторы *SA39-11SRWA* (в модуле индикаторов).

Программное обеспечение ПИДН разработано на языке C++ и Delphi 7.

Разработанный ПИДН включен в состав установки высшей точности для измерения ослабления электромагнитных колебаний на фиксированных частотах в диапазоне частот 0...100 МГц (УВТ 52-А-87), хранящейся в ВНИИФТРИ.

На базе этой установки в настоящее время создается Государственный первичный эталон ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот до 178 ГГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ким В.Л. Методы и средства повышения точности индуктивных делителей напряжения: монография. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2009.
2. Ким В.Л., Пругло В.И. Автоматизированная установка для исследования масштабных измерительных преобразователей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 4.
3. Ким В.Л. Индуктивный делитель напряжения. Пат. 39001 Российская Федерация, МПК⁷ H01F 21/12. Заявл. 04.02.2004; опубл. 10.07.2004, Бюл. № 19.
4. Nakase T. Isolated-Section Inductive Divider and Its Self-Calibration // IEEE Trans. Instrum. and Meas. 1970. Vol. IM-19. № 4.
5. Бориков В.Н., Баранов П.Ф., Цимбалист Э.И., Ким В.Л. Устройство для испытаний и поверки индуктивных делителей напряжения // Контроль, диагностика, 2011. № 11.

СТАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ В ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Шаврин В.В., Конаков А.С.

Научный руководитель: Тисленко В.И., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: svv281088@sibmail.com

Введение

Комплексированные навигационные системы (КНС) в составе инерциальных навигационных систем (ИНС) и спутниковых радионавигационных систем (СРНС) имеют ряд преимуществ и используются в условиях наличия прерываний в поступлении радиосигналов от СРНС типа GPS или ГЛОНАСС. Применение современных микропроцессорных устройств обработки сигналов и сравнительно низкая стоимость бесплатформенных ИНС (БИНС), использующих микроэлектромеханические системы (МЕМС), обеспечивают высокую конкурентоспособность КНС на основе БИНС.

В зависимости от наличия сигналов от СРНС выделяют два режима работы КНС: режим уточнения координат, полученных от СРНС и режим автономной работы БИНС. Точность решения навигационной задачи зависит, во-первых, от ошибок численного вычисления интегралов при реализации метода счисления пути, во-вторых, от адекватности математических моделей данных, получаемых с инерциальных датчиков ускорения и угловой скорости, и их параметрической идентификации, в-третьих, от точности решения кинематических уравнений.

Постановка задачи

Ошибка решения навигационной задачи в горизонтальной плоскости с учетом всех возможных источников погрешности для автономной работы БИНС из одного акселерометра и одного гироскопа может быть оценена с помощью выражения [1]:

$$\begin{aligned} \delta p(t) \approx & \delta p_0 + \delta v_0 \Delta t + \delta b_{0a} \frac{\Delta t^2}{2} + \delta b_{0g} \frac{\Delta t^3}{6} + \\ & + \delta \theta_0 g \frac{\Delta t^2}{2} + \delta A_{0z} \cdot V \Delta t + SF_{0a} \cdot f \frac{\Delta t^2}{2} + \\ & + SF_{0g} \cdot \delta A_{0z} \cdot V \Delta t \end{aligned} \quad (1)$$

где δp_0 - ошибка определения координат в начальный момент времени t_0 ; δv_0 - ошибка скорости в момент t_0 ; Δt - интервал времени с момента получения последних данных от СРНС; δb_{0a} - ошибка смещения нуля акселерометра в момент t_0 ; δb_{0g} - ошибка смещения нуля гироскопа в момент t_0 ; $\delta \theta_0$ - ошибка несовмещения осей БИНС по углам крена и тангажа с осями локальной системы координат (СК); $\delta A_{0z} \cdot V \Delta t$ - ошибка несовмещения БИНС по углу азимута с локальной СК, умноженная на пройденное расстояние; SF_{0a} -

погрешность масштабного коэффициента для акселерометра; SF_{0g} - погрешность масштабного коэффициента для гироскопа; f - кажущееся ускорение; g - ускорение свободного падения.

Из (1) видно, что для оценки погрешности местоположения с использованием БИНС зависит от погрешностей определения параметров математической модели сигналов инерциальных датчиков – смещение нуля и масштабный фактор.

В данной работе будем рассматривать только сигналы от акселерометров БИНС.

Структура модели сигналов акселерометров, входящих в состав МЕМС, соответствует [2] и имеет вид

$$\mathbf{I}_f(t) = \mathbf{a}(t) + \mathbf{b}_f + \mathbf{S}\mathbf{a}(t) + \mathbf{N}\mathbf{a}(t) + \boldsymbol{\varepsilon}_f(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{I}_f(t)$ - вектор показаний датчика, состоящий из проекций на оси, измеренного истинного линейного ускорения; $\mathbf{a}(t)$ – вектор ускорения по осям; \mathbf{b}_f - смещение нуля датчиков; \mathbf{S} - матрица масштабных коэффициентов; \mathbf{N} - матрица неортогональности осей акселерометров по отношению к оси oX ; $\boldsymbol{\varepsilon}_f(t)$ - шум преобразователей.

Задача параметрической идентификации модели (2) предполагает выполнение калибровки датчиков. В итоге должны быть получены оценки параметров в составе (2): смещения нуля датчиков, масштабные коэффициенты и углы неортогональности осей oY и oZ по отношению к oX .

Методы калибровки

В ходе изучения литературы [1,3,4] было выявлено несколько наиболее распространённых методов калибровки БИНС. Они отличаются сложностью реализации, числом оцениваемых параметров и точностью оценки этих параметров. После сравнительного анализа были выбраны следующие два: шестипозиционный (six-position calibration method, далее SPM) и многопозиционный (Multi-position calibration method, далее MPM) методы.

SPM позволяет оценить смещение нуля датчиков и их масштабные коэффициенты с помощью простых соотношений, приведённых в [1] для измерений в шести положениях. Недостаток метода состоит в необходимости точного совмещения осей БИНС с осями локальной СК.

В MPM данный недостаток отсутствует. При этом увеличивается число положений датчика, и используется тот факт, что сумма квадратов проекций показания датчиков в состоянии покоя, равна локальному значению квадрата модуля вектора

g. На (рис. 1) показаны возможные положения датчика.

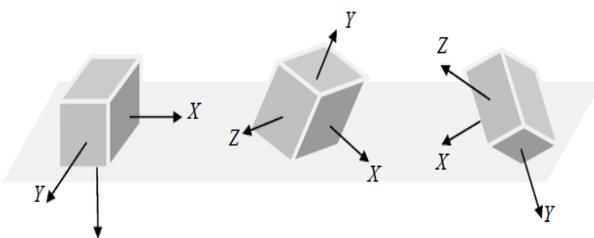


Рис. 1. Ориентация БИНС осями вниз (слева), под наклоном (в центре), углами вниз (справа)

Алгоритм, реализованный на основе МРМ, является итеративным. Первая точка для начала итераций оценивается по принципу SPM, но с грубой ориентацией датчиков.

Моделирование

Для оценки влияния объема выборки, величины оцениваемых параметров, уровня шума датчиков ускорений и скорости сходимости оценок на точность алгоритмов было проведено статистическое моделирование калибровки датчиков ускорения БИНС. Величины моделируемых параметров были взяты из документации на реальный датчик БИНС ADIS 16354 [6]. На рис. 2 приведена зависимость относительной СКО (ОСКО) оценки масштабного фактора по трём осям от объема выборки. Результаты моделирования по оси оХ приведены в Таблице 1. Для осей оУ и оZ порядок величин будет идентичным.

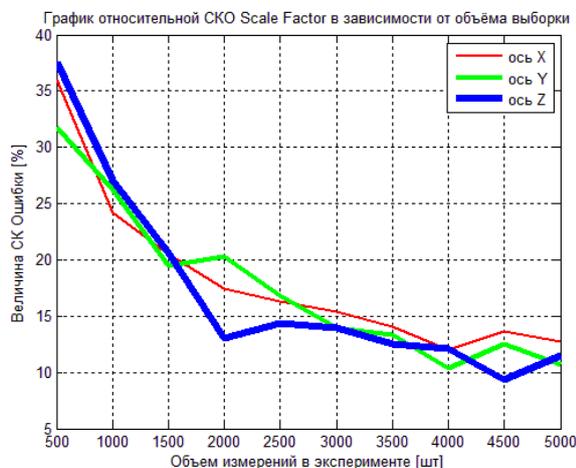


Рис. 2. Зависимость ОСКО для масштабного коэффициента

Заключение

В результате работы были изучены все существующие методы калибровки датчиков ускорения БИНС. С точки зрения практической реализуемости был выбран один из них - МРМ. Осуществлено моделирование этого метода и по его результатам сделаны следующие выводы:

1. Метод может использоваться при полевой калибровке датчиков БИНС.

2. Точность метода зависит от числа положений датчика во время калибровочной процедуры. С увеличением их количества точность оценок параметров увеличивается, но при этом увеличивается время проведения калибровки. Число положений берётся равным 26 либо 32.

3. Точность оценки параметров зависит от объема выборки при каждом из положений датчика, что так же увеличивает время процедуры. Объем выборки берётся равным 3000.

4. Увеличение уровня внутренних шумов датчиков более чем на порядок по сравнению с величиной оцениваемых параметров делает невозможным параметрическую идентификацию модели (2).

5. Эмпирическим путем установлено, что оптимальное число итераций составляет 40 - 50.

Таблица 1

Результаты моделирования МРМ оценки параметров

Параметр моделирован	величина параметра	Величина относительной СКО в %		
		Смещение	Масштаб ф	Неорг
Объём	3000	1,5	9,1	8,0
Объём	5000	1,3	6,5	7,0
число полож	26	1,5	9,1	8,0
число полож	32	1,4	6,9	8,1
Шум	0,001	0,3	2,0	2,0
Шум	0,01	3,0	21,0	19,4
число итер	150	2,5	20,0	11,5
число итер	40	1,3	8,2	8,5
Истинная величина		0.002 mg	0,0005	0.05 град

Литература:

1. Syed Z. Design and Implementation Issues of a Portable Navigation System. Department of Geomatics Engineering, Alberta: The University of Calgary, Canada, 2009.

2. Schwarz K.P. and Wei M. INS/GPS Integration for Geodetic Applications, Lecture Notes EN-GO623, Department of Geomatics Engineering, Alberta: The University of Calgary, Canada, 2000.

3. Shin, E.-H. Accuracy Improvement of Low Cost INS/GPS for Land Applications, Thesis, UCGE reports Number 20156, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada., Canada, 2001.

4. Hayal A. Static Calibration of the Tactical Grade Inertial Measurement. The Ohio State University 2010.

5. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений / под ред. В.Ф. Писаренко – М.: Мир, – 1975. – 312 с.

АППАРАТНОЕ ОСНАЩЕНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ. АВТОНОМНАЯ СТАНЦИЯ

Шамрин А.М. Щеголев Ю.А.

Научный руководитель: Пестунов Д.А. н.с. Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Caldy@mail.ru

Начиная с 2003 года на базе Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории в прибрежной зоне озера Байкал ведется мониторинг состава воды и приземного слоя атмосферы и их физико-химических параметров [1]. Как показали результаты экспериментов проведенных во время кратковременных экспедиций в открытой акватории, характер поведения многих параметров (содержание CO₂ в воде, направление и величина потока CO₂ между водой и атмосферой и др. параметры) и их внутрисуточная изменчивость резко отличаются от оных в прибрежной зоне. Следовательно, для распространения результатов, полученных в литоральной зоне на всю территорию Байкала, необходимы знания о суточном и сезонном ходе необходимых параметров в открытой части озера. Проведение в пелагиали озера длительных наблюдений с участием человека весьма затруднительно и неоправданно дорого. Создание автономного измерительного комплекса позволит проводить длительный мониторинг состояния среды с минимальными затратами и без участия человека.

В данной работе требуется решить ряд задач, а именно: подобрать оптимальный набор измеряемых параметров, выбрать датчики и спроектировать систему управления и сбора данных с низким энергопотреблением, обеспечить автономное электропитание, используя возобновляемые источники энергии, реализовать возможность сохранения и передачи данных на удаленную систему сбора информации. Основное требование к комплексу это обеспечить измерение содержания углекислого газа в приземной атмосфере и спроектировать его с учетом последующей адаптации к измерению потоков CO₂ с водной поверхности.

Исходя из поставленных задач, была разработана структура измерительного комплекса (рис.1), которая на данном этапе содержит: управляющий микроконтроллер, CO₂ газоанализатор, датчик атмосферного давления, три датчика температуры (измерение температуры воздуха, у поверхности воды и на глубине 1 метр), датчик влажности, чашечный анеометр, пиранометр, акселерометр (используется для определения волнения воды), модуль GPS, GSM модем, приемник SD карт, свинцово-кислотную гелиевую аккумуляторную батарею, ветрогенератор, солнечную батарею, блок питания, маячок (для сигнализации в темное время суток), интерфейс для работы с pH-метром (pH-метр используется по необходимости).

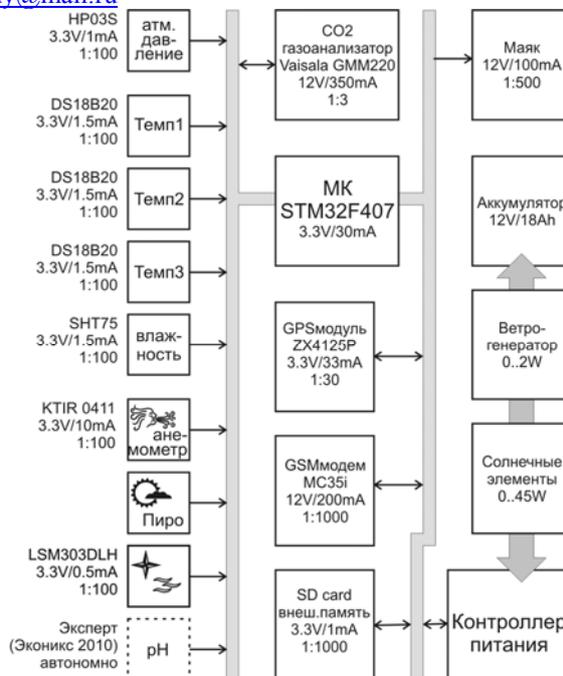


Рис.1 Функциональная схема комплекса. Для каждого элемента приведено его название, питающее напряжение и ток потребления. Временная скважность работы устройства показана в виде соотношения 1:X.

Для проведения непрерывных измерений необходимо большое количество энергии. Расчет показал, что в активном режиме работы (включено все оборудование), потребляемая мощность комплекса составляет более 8 Вт. В случае непрерывной работы заряда используемого аккумулятора 18А/ч хватит на сутки. В спящем режиме те же приборы потребляют значительно меньше (суммарная мощность будет меньше 0,2 Вт). Исходя из этих данных, был подобран режим работы для каждого устройства (показанный на рис.1 в виде соотношения 1:X). Все выбранные компоненты имеют напряжение питания 3.3В или 12В, для простоты проектирования блока питания и снижения энергопотребления отдельных преобразователей.

В измерительном комплексе система управления выполняет главные функции. Она должна обеспечивать включение/выключение и опрос имеющихся датчиков, проводить первичную обработку полученных данных, а именно осреднение, поиск экстремумов (мин-макс), СКО, сохранение данных на носитель и/или передачу их на удаленную базу, следить за энергопотреблением и зарядом аккумуляторных батарей. При этом чтобы обеспечить высокую надежность и низкое энергопотребление она должна быть построена с приме-

нением минимального количества элементов и на современной элементной базе. В качестве центрального управляющего блока целесообразно использовать однокристалльный микроконтроллер.

В настоящее время в промышленности выпускается множество быстродействующих микроконтроллеров. Широкое распространение нашли 32-разрядные микроконтроллеры, построенные на ядре ARM/Cortex. Такие контроллеры обеспечивают высокую производительность и достаточно малое энергопотребление. В качестве базового процессора системы управления выбран микроконтроллер STM32F407. Отличительные особенности данного МК, повлиявшие на выбор его в качестве управляющего блока, это достаточно низкое энергопотребление 230 $\mu\text{A}/\text{MHz}$; наличие всех необходимых интерфейсных модулей и портов для подключения оборудования: 6 модулей USART с полным модемом (для подключения GPS, GSM, газоанализатора, pH-метра, датчиков температуры), 2 модуля I2C, 12-битный АЦП, часы реального времени RTC и др.

Для измерения концентрации атмосферного CO_2 используется модуль Vaisala GMM220, который представляет собой недисперсионный ИК датчик открытого типа (open-path). Основное достоинство в отличие от ИК-датчиков с закрытой измерительной головкой в том, что не требуется прокачка через него пробы воздуха, и, соответственно, отсутствуют воздушная магистраль и элементы пробоподготовки. Защищен от пыли и брызг, возможна программная компенсация на давление и температуру.

Датчики температуры выбирались из соображений низкого потребления, высокой разрешающей способности и низкой погрешности. Этим требованиям удовлетворяют датчики фирмы Dallas – DS18B20. Это цифровой термометр с программируемым разрешением, от 9 до 12-bit, обменивается данными по шине 1-Wire, разрешающая способность температурного преобразователя – 12 битов, что соответствует приращению 0.0625°C .

Для измерения атмосферного давления был выбран датчик – HP03SA. Данный датчик имеет встроенную термокомпенсацию, низкий ток потребления при напряжении питания 3.3В. При простом микросхема сама переходит в режим низкого энергопотребления.

Блок питания формирует напряжения 3.3В и 12В необходимые для работы комплекса. При этом применены импульсные преобразователи напряжения, имеющие высокий КПД. Контроллер питания предназначен для эффективного использования энергии ветрогенератора и солнечной батареи и подзарядки аккумулятора.

По количеству солнечных дней Иркутская область не уступает Крыму. Ежегодное количество часов солнечного сияния, в зависимости от района, колеблется от 1700 до 2500 (для сравнения: на Южном берегу Крыма - 2300). Из этого можно сделать предположение что солнечная панель будет эффективным источником энергии для станции на оз. Байкал. В декабре 2011 года была собрана и испытана экспериментальная батарея из солнечных панелей 3x6 дюймов 1,8Вт (рис.2). Количество панелей 27, следовательно расчетная мощность батареи 48,6 Вт. В ходе натурных испытаний была достигнута максимальная мощность около 12 Вт. В декабре продолжительность инсоляции минимальна, что приводит к снижению эффективности солнечной батареи и, как следствие, нехватке энергии для возобновления заряда аккумулятора.

На озере Байкал скорость ветра, в среднем, составляет 5-8 метров в секунду. Энергию ветра так же можно использовать для питания комплекса при помощи ветрогенератора. В декабре был собран макет ветрогенератора вертикального типа с генератором постоянного тока для натурных испытаний. При скорости ветра $\sim 5\text{ м/с}$ ветрогенератор вырабатывал около 5Вт.

В настоящий момент идет работа по совершенствованию комплекса: добавление новых датчиков, поиск более эффективного использования энергии.



Рис.2 Солнечная батарея

Список литературы:

1. Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В., Заворуев В.В., Новицкий А.Л. Экспериментальное исследование процессов газообмена CO_2 в системе "атмосфера - водная поверхность" оз. Байкал (постановка эксперимента) // Оптика атмосферы и океана, 2007. Т. 20. № 5. С.448-452.

РАСЧЕТ РАСХОДА ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО РАСХОДОМЕРА

Шрейбер Д.А., Назырова З.А., Мороков И.А.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: chuyecd@gmail.com

Использование автоматического регулятора температуры и напора воды в бытовых условиях дает ряд преимуществ. К таковым относятся: экономия воды, удобство использования и др.

Такой регулятор представляет собой водопроводный смеситель, в котором отсутствует ручное управление (hands-free). Главной его задачей является устанавливать на выходе крана поток воды необходимой температуры и заданного напора.

Встает вопрос о том, какая информация нужна для регулирования напора и температуры воды.

При смешивании объемов одного вещества разной температуры результирующая температура вычисляется по формуле[1]:

$$T_{см} = \frac{nT_r - T_x}{n + 1}, \quad (1)$$

где T_r и T_x – температура горячего и холодного вещества соответственно, $n = \frac{m_r}{m_x}$ – коэффициент относительной массы.

Исходя из того, что массовый расход воды равен[2]:

$$Q = \frac{m}{t},$$

где t – время, за которое через трубопровод проходит масса m , можно записать:

$$n = \frac{Q_r}{Q_x}. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), а также учитывая, что $Q = Q_r + Q_x$, можно записать отдельный расход горячей и холодной воды:

$$Q_r = \frac{Q(T_{см} - T_x)}{T_r - T_x}, \quad Q_x = \frac{Q(T_r - T_{см})}{T_r - T_x} \quad (3, 4)$$

Для расчета по формулам необходим один расходомер и три датчика температуры: для измерения температуры горячей и холодной воды, а также температуры воды на выходе системы.

Таблица 1. Зависимость температуры смешанной воды от соотношения объемов горячей и холодной воды

$n (Q_r/Q_x)$	$T_{см}, ^\circ\text{C}$
0,25 (100/400)	29
0,67 (200/300)	42
1 (250/250)	48
1,5 (300/200)	52
4 (400/100)	65

Преимущество данного метода состоит в том, что формулы имеют в составе регулируемые па-

раметры (напор Q и температуру $T_{см}$), которые задаются пользователем. Результат – значения расходов горячей и холодной воды, которые можно сопоставить с углом поворота крана.

Был проведен эксперимент, подтверждающий правильность формул (3, 4). В этом эксперименте смешивалась горячая и холодная вода в разных пропорциях и измерялась конечная температура.

В данном эксперименте температура горячей воды $T_r = 83^\circ\text{C}$, температура холодной воды $T_x = 17^\circ\text{C}$, общее количество воды во всех измерениях $Q = 500$ мл. Были построены экспериментальные кривые и проведено сравнение с теоретическими кривыми.

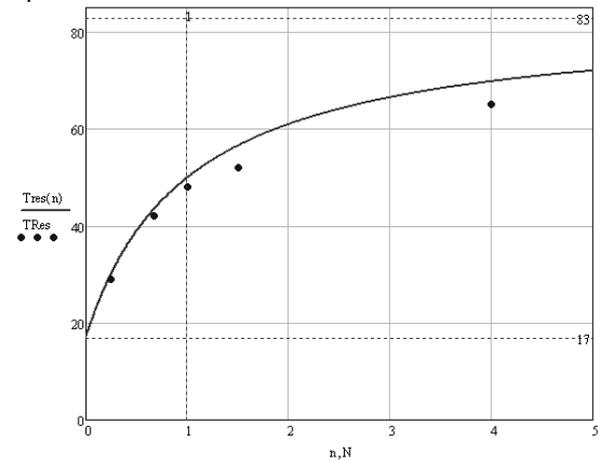


Рис. 1. Зависимость температуры смешанной воды от соотношения объемов горячей и холодной воды

Экспериментальная кривая зависимости температуры смешанной воды от соотношения расходов горячей и холодной воды проходит ниже теоретической кривой (рис. 1). Это связано с потерей тепла при смешивании и теплоотдачей в сосуд.

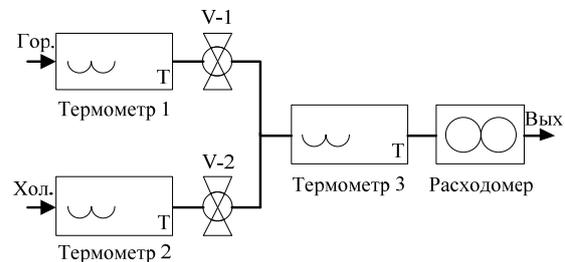


Рис. 2. Экспериментальная установка

При проектировании устройства необходимо учитывать и минимизировать потерю тепла на пути между входными датчиками температуры и выходным.

Как уже говорилось выше, мгновенные значения расходов Q_r и Q_x зависят от площади сечения трубопровода, которую мы меняем поворотом вентиля. Соответственно, угол его поворота непосредственно влияет на площадь сечения.



Рис. 3. Устройство шарового крана

В установке использовались шаровые краны (рис. 3). В грубом приближении можно считать, что изменение их площади сечения происходит в одной плоскости.

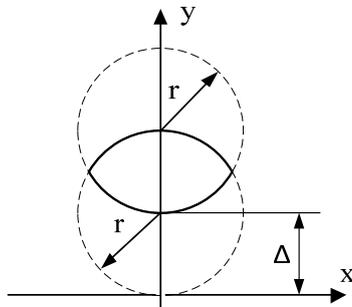


Рис. 4. Изменение площади сечения проходного отверстия шарового крана

На рис. 4 показано изменение площади сечения шарового крана в зависимости от угла поворота. Параметр Δ – сдвиг отверстия в шаре относительно основного сечения трубы. При $\Delta = 0$ кран полностью закрыт, при $\Delta = 2r$ кран полностью открыт. Площадь изменяющегося круглого сечения [3] вычисляется как разница между площадью сечения трубы (нижняя окружность) и площадью, которую закрывает шар при повороте [4]:

$$S(\Delta) = S_1(\Delta) - S_2(\Delta) = 2 \int_0^{2r/\Delta} \left(\sqrt{r^2 - x^2} + r \right) dx - 2 \int_0^{2r/\Delta} \left(r + \Delta - \sqrt{r^2 - x^2} \right) dx$$

В результате вычисления интеграла получается:

$$S(\Delta) = 4r^2 + \frac{8r}{\Delta}$$

Если аппроксимировать Δ как длину дуги радиусом R (рис. 5), то зависимость Δ от угла будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta(\alpha) = \frac{2\pi r \alpha}{360}$$

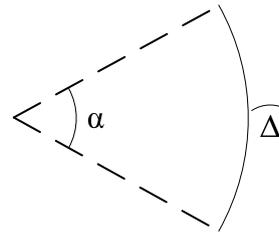


Рис. 5. Аппроксимация Δ как длины дуги радиусом R

Конечная формула зависимости площади сечения шарового крана от угла его поворота:

$$S(\alpha) \approx 4r^2 + \frac{1440r}{\pi \alpha R}$$

Следует отметить, что выведенная зависимость является приближенной в силу сделанного допущения, что площадь сечения шарового крана меняется в одной плоскости.

Для непосредственного управления поворотом крана по вычисленным значениям Q_r и Q_x необходимо воспользоваться формулой [1]:

$$Q = Sv,$$

где v – скорость потока в трубе.

Используя закон Бернулли:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = const,$$

а также его следствие:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2,$$

необходимо найти искомую зависимость расхода воды от угла поворота крана.

Предложенный метод измерения расхода горячей и холодной воды, используя показания одного расходомера и трех датчиков температуры, является выигрышным в интеллектуальной системе, так как помимо расходов идет сбор и другой информации, вплоть до давления в трубопроводах.

Список литературы:

1. Курс физики: учебное пособие / Т. И. Трофимова. – 7-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2001. – 542 с.: ил. – Предм. указ.: с. 524-536.
2. П.П. Кремлевский Расходомеры и счетчики количества: Справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. - 701 с: ил.
3. Линейная алгебра и аналитическая геометрия: учебное пособие / Л. И. Терехина, И. И. Фикс. – Томск, 1998. – 216 с.
4. Неопределенный и определенный интегралы: учебное пособие / Л. И. Терехина, И. И. Фикс; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 114 с.

АППАРАТНОЕ ОСНАЩЕНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ. БЕРЕГОВАЯ СТАНЦИЯ

Щёголев Ю.А., Шамрин А.М.

Научный руководитель: Пестунов Д.А. к.т.н., н.с. ИОА СО РАН
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Uriiy@tpu.ru

Постоянный рост углекислого газа в атмосфере приводит к усилению парникового эффекта. За последние 100 лет содержание CO_2 в атмосфере возросло на 40%, что несомненно связано с деятельностью человека. Причем, если темпы роста сжигания ископаемого топлива сохраняться, то в ближайшие 20-30 лет количество CO_2 в атмосфере удвоится, что может привести к катастрофическим изменениям климата [1]. Чтобы выделить степень влияния на климат человека и естественных систем, и найти возможные решения «парниковой проблемы» необходимо изучать углеродный цикл.

Оборот CO_2 в естественных экосистемах преимущественно связан с процессом биоценоза суши и океана. На сегодняшний день уже достаточно полно сформированы основные представления о стоках и источниках атмосферного углекислого газа в глобальном масштабе, а на основе полученных данных построен ряд прогностических моделей. Однако, как возможные источники и стоки, из рассмотрения упускаются системы пресных водоемов, что, несомненно, важно для многих географических районов. Озеро Байкал занимает значительную территорию внутри континента и вносит ощутимый вклад в климат региона. Для оценки суточной, сезонной и межгодовой динамики переноса углекислого газа через границу раздела атмосфера-вода на Байкале необходимо проведение соответствующих измерений.

В 2002 году на западном побережье оз. Байкал была начата серия комплексных экспериментов по исследованию процессов газообмена CO_2 в системе «атмосфера-вода». Были опробованы различные подходы измерения потоков газа, изготовлен аппаратно-программный комплекс, реализующий данные измерения [2]. Однако большинство экспериментов проводилось вручную и поэтому измерительные циклы захватывали лишь ограниченный период времени – 2-3 недели, и при работе с комплексом требовалось постоянное присутствие оператора.

В рамках проводимой авторами работы по модернизации комплекса стояла задача перейти на непрерывный режим работы с возможностью управления комплексом с удаленного сервера и отображением данных в реальном времени.

Необходимо было решить ряд задач, а именно разработать новую структуру комплекса, обеспечивающую устойчивую работу в течение длительного времени, периодическую калибровку анализаторов, подключение к базе данных. На рисунке 1 показана функциональная схема комплекса, включающая в себя измерительную камеру для опреде-

ления потоков газа с водной поверхности, эквивалентатор [3] для измерения парциального давления в воде CO_2 и других газов, блок пробоотбора и калибровки для подключения всех измерительных каналов, GPRS модем для дистанционной передачи данных, дополнительные датчики: температура и влажность воздуха, температура воды (профиль из 9 датчиков), поток солнечной радиации, индикатор осадков, pH-метр. Персональный компьютер (ПК) используется в качестве основного хранителя результатов измерений и передачи их на внешний сервер баз данных.

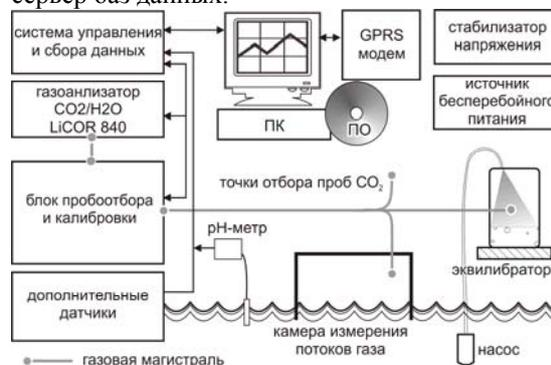


Рис. 1. Измерительный комплекс

Система управления и сбора данных (СУ), функциональная схема которой представлена на рисунке 2, является связующим узлом между ПК и измерительным оборудованием комплекса. Через нее осуществляется управление воздушными клапанами и побудителями расхода для отбора проб и калибровки, слежение за состоянием воздушных магистралей (скорость расхода и температура пробы, наличие в пробе воды). Также в системе управления реализованы блоки защиты следящего типа, предотвращающие программные сбои и обеспечивающие защиту комплекса от внешнего воздействия. Воздушные магистрали спроектированы таким образом, что в случае отключения электроэнергии клапана, переходя в нормальное состояние, перекрывают выходы баллонов с дорогостоящей калибровочной смесью.

Перевод оборудования на новую элементную базу позволил реализовать все функции управления и сбора данных на одном микроконтроллере (LPC2148), что обеспечивает уменьшение функциональных блоков в системе управления и тем самым повышает стабильность работы комплекса. Некоторые программные решения позволяют повысить защиту от сбоев оборудования. Таким образом, на работу каждого программного блока выделяется определенное время, в течение которого ожидается ответ. Если ответа не приходит опера-

ционная система контроллера пропускает опрос неисправного элемента системы управления. При зависании персонального компьютера микроконтроллер переключается в автономный режим, в котором считывание программы измерительного цикла и сохранение результатов измерения происходит через SD карту, а блок «сброс» передает сигнал компьютеру на перезапуск. После восстановления работы ПК результаты за время простоя сохраняются с SD карты в базу данных.

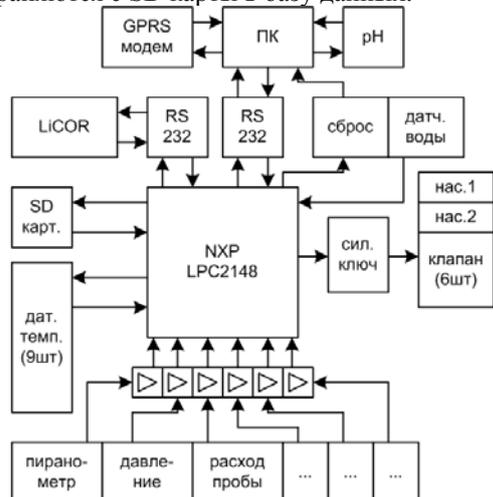


Рис. 2. Система управления и сбора данных и ее включение в комплекс

Блок «датчик воды» следит за попаданием воды в воздушный тракт комплекса, которое может быть вызвано переломом воздуховода на воде, затоплением камеры, засором слива в экваторе и т.д., что приведет к моментальному выходу из строя узлов газоанализатора. Первичный преобразователь блока «датчик воды» представляет собой электрическую емкость в виде двух изолированных проводов марки ПЭТВ-2 свернутых в спираль и помещенных в полость полиэтиленовой трубки. В сухом состоянии электрическая емкость первичного преобразователя мала (100пФ), но, помещенная в воду, она значительно возрастает (>2нФ). Датчик воды следит, когда прирост емкости достигнет определенного уровня и в этом случае сформирует сигнал тревоги. Система управления незамедлительно обрабатывает информацию о попадании воды, выключая насосы (нас.1, нас.2) и клапана, запирая тракт извне.

Для интерпретации данных о потоке включаются в рассмотрение дополнительные данные о состоянии и составе воды и атмосферы, метеосостояния, которые, в свою очередь, также должны быть измерены и сопоставлены с данными о потоке в рамках единого эксперимента.

Поскольку процессы фотосинтеза напрямую связаны с солнечной активностью, то для изучения оборота CO₂ в естественных экосистемах необходимо получение данных о потоках солнечной радиации. Для этого в комплексе используется пиранометр.

Суточная изменчивость температуры воды связана инерционными движениями в толще воды, возникающими на границах раздела течений и водных масс неоднородностями, а также с суточным ходом солнечной радиации. Используя методику измерения потока, необходимо получение градиента температуры водной толщи. Для измерения температуры воды на разных глубинах используется гирлянда с датчиками DS18B20, закрепленными на тросе и распределенными по глубине, как показано на рисунке 3. Для натяжения троса, установки в вертикальном положении, используются якорь и поплавков.

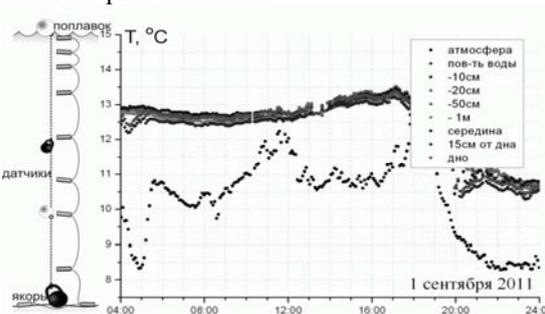


Рис. 3. Схема крепления датчиков и пример суточного хода профиля температуры

Высокая плотность распределения датчиков у поверхности выбрана исходя из предварительных испытаний. У поверхности наблюдаются наибольшие суточные изменения температуры. Прогрев поверхностных вод может быть вызван рядом процессов: дневной прогрев, связанный с солнечной инсоляцией, принос подводными течениями теплых масс. Разделить эти процессы помогают показания пиранометра.

Созданный комплекс проходит апробацию в натуральных условиях. Результаты измерений комплекса передаются на внешний сервер и обрабатываются в автоматическом режиме. Сейчас разрабатывается сайт, на котором в виде графиков будут отображаться: ход концентрации CO₂ в атмосфере и воде озера, его потоки, остальные параметры за последние сутки, неделю и месяц. WEB-сайт планируется разместить на сервере Института оптики атмосферы (www.iao.ru).

Список литературы:

1. Карнаухов А.В. Роль биосферы в формировании климата Земли. Парниковая Катастрофа // Биофизика. 2001. Том 46. Вып. 6. С. 1138-1149
2. Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В., Заворуев В.В., Новицкий А.Л. Экспериментальные исследование процессов газообмена CO₂ в системе "атмосфера - водная поверхность" оз. Байкал (постановка эксперимента) // Оптика атмосферы и океана, 2007. Т. 20. № 5. С.448-452
3. Пестунов Д.А., Шмаргунов В.П., Панченко М.В. Измеритель содержания CO₂, растворенного в воде // Приборы и техника эксперимента 2008. №5 С.143-145

СЕКЦИЯ 3

**ТЕХНОЛОГИЯ,
ОБОРУДОВАНИЕ И
АВТОМАТИЗАЦИЯ
МАШИНО-
СТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ангаткина О.О.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я., д.т.н., профессор
 Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: peterkrau@tpu.ru

Помимо традиционно распространенных вибрационных механизмов, широко описанных в справочной литературе [1], на сегодняшний день все больший интерес представляют вибрационные устройства с точным управлением параметров вибраций.

В таких вибромеханизмах, возбудителем колебаний является кинематический генератор колебаний, и, как правило, приводной двигатель имеет жесткую обратную связь по текущему углу поворота генератора для точного управления частотой или текущей фазой колебаний. Нагрузка в таких устройствах осуществляется внешней средой специфически: посредством присоединенной массы, присоединенной упругости или незначительной вязкой нагрузки. Для уменьшения динамической составляющей, передаваемой от колебательного контура через кинематический генератор на привод, на вал двигателя устанавливают маховик с определенным моментом инерции.

В данной работе рассмотрен гидрообъемный вибромеханизм с кинематическим генератором колебаний, реализующим синусоидальную форму входного воздействия, и приводом, выполненном в виде гидромотора с объемной системой управления. Однако, несмотря на то, что, как колебательный контур вибромеханизма, так и привод, могут с достаточной высокой достоверностью быть описаны дифференциальными уравнениями второго порядка с постоянными коэффициентами, наличие кинематического генератора колебаний, связывающего контуры привода и виброисточника в единую динамическую систему с «быстрым» взаимодействием, приводит к появлению особых автоколебательных режимов.

Такие режимы многократно наблюдались при испытаниях низкочастотных виброисточников сейсмических сигналов, эксплуатации накладных управляемых вибраторов для снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях, а также при работе испытательных вибрационных стендов, выполненных по описанной выше схеме [2].

На рисунке 1 приведена обобщенная блок-схема системы.

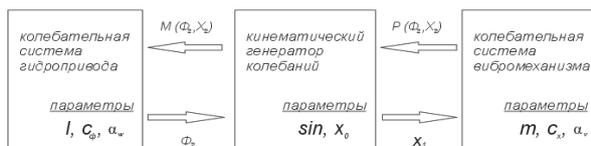


Рис. 1. Блок-схема вибрационного механизма

В данной системе контур двигателя включает момент инерции подвижных частей I , внутренние потери α_w , упругость связей c_p , обеспечиваемых

жесткой обратной связью и системой объемного регулирования, а также нагрузку со стороны колебательной системы излучателя $M(\varphi_2, x_2)$, зависящей также от текущего фазового угла поворота вала двигателя φ_2 .

Колебательный контур вибромеханизма включает массу платформы m , жесткость подвески c_x , а также внутренние потери совместно с внешней вязкой нагрузкой α_v , оцениваемой коэффициентом α_v .

Дифференциальные уравнения данной системы, представленные в виде удобном для моделирования:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{1}{I} \cdot (c_p \cdot \varphi_1 - \alpha_w \cdot \omega_2 - c_p \cdot \varphi_2 - M(\varphi_2, x_2)), \\ M(\varphi_2, x_2) &= k_s \cdot x_0 \cdot c_x \cdot \cos \varphi_2 \cdot (x_0 \cdot \sin \varphi_2 - x_2), \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \omega_2, \\ \frac{dv_2}{dt} &= \frac{1}{m} \cdot (c_x \cdot x_0 \cdot \sin \varphi_2 - \alpha_v \cdot v_2 - c_x \cdot x_2), \\ \frac{dx_2}{dt} &= v_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Структурная схема рассмотренного вибромеханизма (управляемый контур приводного двигателя – кинематический генератор колебаний – колебательный контур вибромеханизма) приведена на рисунке 2.

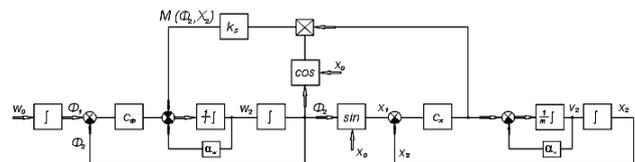


Рис. 2. Структурная схема системы

Из которой видно, каким образом приводной вал через генератор колебаний воздействует на контур колебательной системы вибромеханизма, и каким образом происходит обратное воздействие привода вибромеханизма на контур привода.

При приближенном решении системы уравнений (1) обычно предполагают, что в результате воздействия вибромеханизма на привод через генератор колебаний среднее значение угловой скорости управляемого двигателя ω_2 , меняется в пределах периода колебаний незначительно, и как следствие этого, координатную зависимость момента нагрузки $M(\varphi_2, x_2)$ можно заменить на некоторую осредненную периодическую временную функцию.

Существующее усреднение при приближенном решении дает близкий к действительности резуль-

тат тогда, когда привод по координате φ_2 астатический [3]. Однако в случае наличия у привода жесткой обратной связи по φ_2 осреднение угловой скорости и замена координатной связи $M(\varphi_2, x_2)$ временной зависимостью $M(\omega_2 \cdot t, x_2)$ приводит к ошибочному результату.

Конструктивное исполнение кинематического генератора колебаний наряду с амплитудным значением величины входного воздействия на контур формирует форму сигнала, в рассматриваемом нами случае это – для определения нагрузки на привод в зависимости от текущего угла поворота выходного вала привода.

Исследование рассматриваемой системы по уравнениям (1) в соответствии с приведенной структурной схемой, показало, что в за резонансной зоне контура вибромеханизма, даже при значительной вязкой нагрузке на подвижном звене и весьма малом коэффициенте связи k_s взаимодействие этих контуров порождает интенсивный автоколебательный процесс.

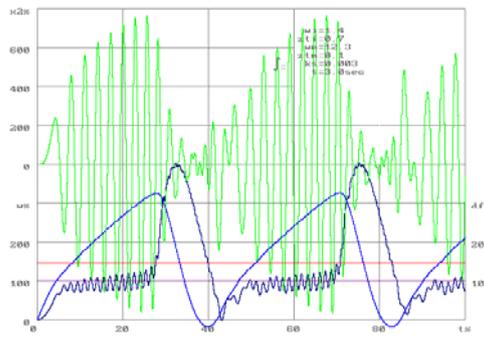


Рис.3. Автоколебания при минимальных потерях в контурах и связи k_s

На рисунках 3,4 и 5 показаны результаты моделирования в виде временных зависимостей при разных значениях коэффициента связи и вязкой нагрузки вибромеханизма.

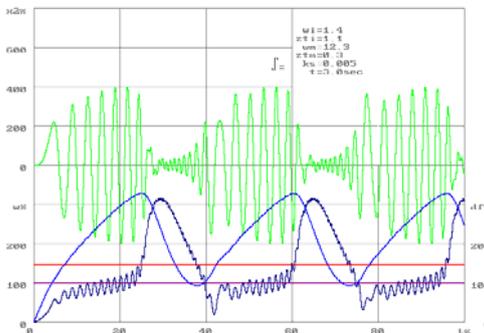


Рис. 4. Автоколебания при средних потерях и коэффициенте связи k_s

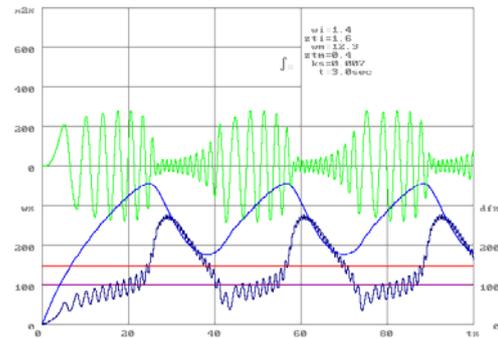


Рис.5. Автоколебания при больших потерях и коэффициенте связи k_s

Полученные результаты находятся в полном соответствии с данными исследований, полученных при испытании мощных низкочастотных гидрообъемных вибровозбудителей на полигонах для испытания сейсмических источников в СО РАН и в лаборатории гидроавтоматики ТПУ.

Также необходимо отметить, что данное устойчивое автоколебательное взаимодействие привода и колебательной системы, при наличии кинематического генератора колебаний и жесткой обратной связи в контуре привода можно использовать при создании устройств с интенсивным вибрационным воздействием на обрабатываемую среду.

Список использованной литературы:

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981 – 568 с.
2. Крауныш П.Я. Динамика вибромеханизма на упругих оболочках с гидрообъемным приводом. Автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук, – Изд-во ТПУ, 1995 – 29 с.
3. Алифов А.А., Фролов К.В. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985 – 328 с.

ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

Гурин С.Ю.

Научный руководитель: Крауиньш Д.П., к.т.н., доцент
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: serjant007@sibmail.com

Создание nanoиндустрии в России невозможно без развития технологий измельчения и получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов. Процессы измельчения широко применяются в химической и керамической промышленности, в порошковой металлургии, в производстве катализаторов и лекарственных средств, во многих других отраслях. Использование новых технологий измельчения позволит повысить конкурентоспособность российских предприятий.

Несмотря на многочисленные попытки использования для разрушения материалов различных физических эффектов, в промышленности преимущественно реализуется механический способ воздействия. Общеизвестно, что степень измельчения при этом зависит не только от величины приложенной нагрузки, но и от частоты циклов воздействия.

С этой точки зрения определенный интерес представляют планетарные мельницы, у которых усилие разрушения создается инерционными силами. В таких мельницах можно легко изменять не только величину усилия, но и частоту циклов воздействия.

Удельная производительность таких мельниц в несколько раз выше, чем вращающихся шаровых. Интенсивность «вкочивания» энергии в материал (передачи энергии от привода мельницы к измельчаемому материалу) в данных мельницах на порядок превосходит традиционные (щековые,

конусные, шаровые) мельницы. Из-за большой энергонапряженности конструкции таких мельниц в настоящее время имеют небольшие размеры и их применяют только когда необходима относительно малая производительность. При увеличении габаритов (для повышения производительности по переработке больших потоков материала) надежность конструкции резко снижается и мельницы выходят из строя.

Одной из причин, которые сдерживают широкое использование планетарных мельниц, является отсутствие методики расчета их кинематических и динамических характеристик.

Проектируемая планетарная мельница представляет собой агрегат из нескольких барабанных мельниц, смонтированных на вертикальном водиле (рис.1). На оси каждой мельницы насажены шестерни, которые находятся в зацеплении с неподвижным зубчатым колесом. При этом шестерни находятся под углом $\alpha=80^\circ$ относительно вертикальной оси водила, что дает в совокупности с особой формой барабана необходимое истирающее воздействие шаров на измельчаемый материал. При вращении водила барабанные мельницы вращаются относительно оси водила, а также вокруг собственных осей. Мелющие тела, находящиеся в барабанах, испытывают действие дополнительных центробежных сил, возникающих при вращении барабана вокруг оси водила

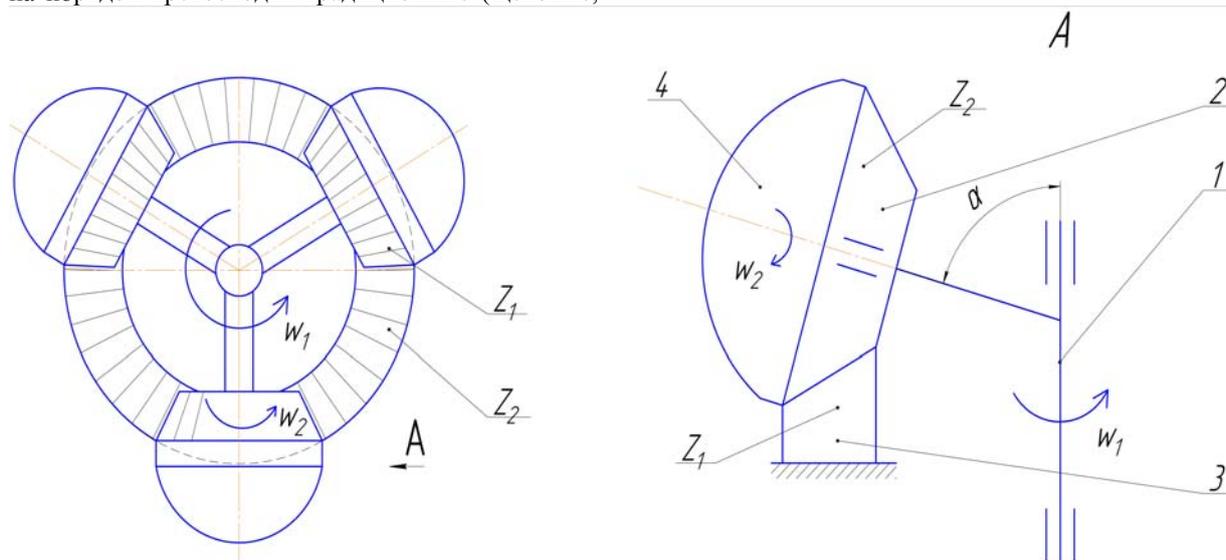


Рис.1. Схема планетарной мельницы
1-водило, 2-зубчатое колесо барабана,
неподвижное зубчатое колесо, 4-барабан

Частицы измельчаемого материала претерпевают множество соударений с мелющими телами и стенками барабана. При высоких ускорениях барабанов в результате интенсивной механической обработки происходит изменение физико-химических свойств порошков. Механически активированные частицы обладают повышенной реакционной способностью и легче вступают в химические реакции, чем порошки, полученные другими методами.

Из рисунка 2 видно, что шар поднимается по стенке барабана за счет силы τ , которая находится из векторной разности сил действующих на шар. Причем эта сила всегда положительна.

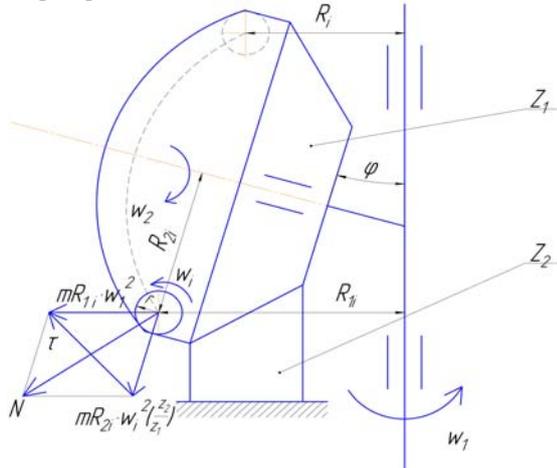


Рис.2. Схема сил при движении шара

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\omega}{dt} r + \varphi \cdot \omega \cdot r \quad \text{следовательно:}$$

$$\frac{d\omega}{dt} r + \varphi \cdot \omega \cdot r = \tau \quad (1)$$

С помощью уравнения (1) можно определить силу заставляющую шар подниматься вверх вдоль стенки барабана.

Рассмотрим уравнение движение шара от его перемещения по осям x и y (см. Рис.3).

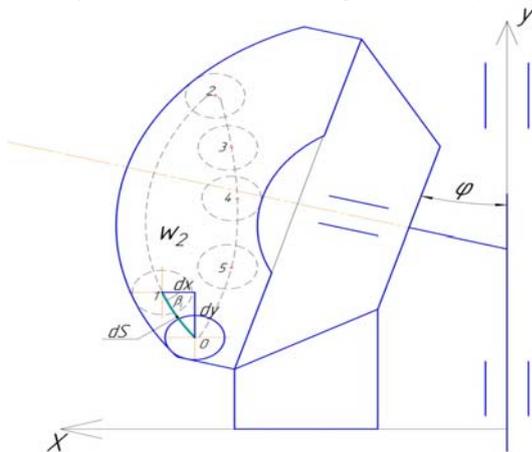


Рис.3. Схема движения шара

Шар движется из 0 точки, в точку 1 совершая перемещение dS , при этом dS можно рассматривать как прямую. Тогда:

$$dS^2 = dx^2 + dy^2, \text{ где } dx = dS \cdot \sin \beta_i$$

Исходя из этого, запишем уравнение движения:

$$m \frac{dV_S}{dt} + \varphi_{VS} \cdot V_S = \tau(x_i, y_i, \omega) + G(x_i, y_i) \quad (2)$$

Где $\varphi_{VS} \cdot V_S = F_{\text{втр}}$ - сила вязкого трения, φ_{VS} - коэффициент сопротивления.

Уравнение (2) можно разложить в систему по x и y .

$$\begin{cases} m \frac{dV_{x_i}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X = \tau_X(x_i, y_i, \omega) + G_X(x_i, y_i) \\ m \frac{dV_{y_i}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y = \tau_Y(x_i, y_i, \omega) + G_Y(x_i, y_i) \end{cases} \quad (2.2)$$

Где G -вес мелющего тела. Отрыв мелющего тела от барабана наступает в том случае, когда правая часть уравнения равна нулю:

$$\tau(x_i, y_i, \omega) + G(x_i, y_i) = 0$$

На основании схем сил и движения (Рис.2. и Рис.3.) получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot R_1 \cdot \omega_1^2 = m \frac{dV_{x_i}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X - G_X(x_i, y_i) \\ m \cdot R_2 \cdot \omega_2^2 = m \frac{dV_{y_i}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y - G_Y(x_i, y_i) \end{cases}$$

Следовательно:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{m \frac{dV_{x_i}}{dt} + \varphi_{VX} \cdot V_X - G_X(x_i, y_i)}{m \cdot \omega_1^2} \\ R_2 = \frac{m \frac{dV_{y_i}}{dt} + \varphi_{VY} \cdot V_Y - G_Y(x_i, y_i)}{m \cdot \omega_2^2} \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет определить траекторию движения шара с заданными характеристиками, в барабане планетарной мельницы, а так же подобрать оптимальный режим для измельчения порошков.

Список литературы:

1. Петров В.Л., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. - М.: Недра, 1990. - 301 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. - М.: Высшая школа, 1998 - 416 с.
3. Бушуев Л. П. Многорежимная планетарная мельница//Горный журнал. 1965. - № 10. - С. 148.
4. Кочнев В.Г. Симанкии С.А. Планетарные мельницы для тонкого и сверхтонкого помола. // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. - №3. - с. 47-48.
5. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия. 1977. 368 с.

РЕДУКТОР ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ РАМКИ АНТЕННЫ

Ермаков Д.В.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина,30
E-mail: ermakdmit@yandex.ru

Частью привода вращения рамки антенны космических аппаратов является приборный редуктор. Специфика работы редуктора предполагает повышенные требования к плавности вращения выходного звена и наличия в редукторе самоторможения. Наиболее приемлемым по точности, плавности хода и массогабаритным характеристикам для решения указанных задач являются приборные редуктора, выполненные на прямозубых, цилиндрических шестернях с эвольвентным зацеплением.

Плавность и точность вращения выходного звена редуктора во многом определяется погрешностью вызванной мертвым ходом.

Мертвый ход, определяемый максимальными боковыми зазорами, снижает точность отсчета приборных редукторов и вводит нелинейность в следящие системы автоматики, что может вызвать появление незатухающих колебаний, особенно при малых (0,01 град/с и менее) скоростях вращения рамки антенны. Поэтому в точных зубчатых передачах приборных редукторов приходится ограничивать мертвый ход минимально возможной величиной. Уменьшить мертвый ход в передаче до 2 мкм позволяет применение люфтовывирающих устройств. Однако, применение таких устройств на первых (входных) ступенях редуктора не представляется возможным из-за их малых габаритов. Устранить незатухающие колебания позволяет введение в первые ступени зубчатой передачи упруговязкого демпфирующего звена. Таким звеном является сам блок шестерен, установленный в шарикоподшипниковых опорах с заложенной в них пластичной смазкой.

Обычно на первой ступени приборных редукторов применяют шарикоподшипники 4-1000084, каждый из которых имеет момент трения, после расконсервации 0,025 мН·м. Тот же шарикоподшипник с заложенной в него пластичной вакуумной смазкой ВНИИ НП-274 (сохраняет работоспособность до $1,33 \cdot 10^{12}$ Па), имеет момент трения 0,09 мН·м при температуре +20°C [1]. Таким образом, сам по себе блок шестерен первой ступени без каких-либо дополнительных приспособлений имеет момент вязкого трения около 0,2 мН·м, что для ряда режимов работы привода антенны

является недостаточным. Повысить момент трения можно путем создания в шарикоподшипниковой опоре осевой нагрузки.

Величина момента сил трения в стандартном приборном однорядном шарикоподшипнике при радиальной R и осевой A нагрузках определяется по соотношению

$$M_{\text{тр}} = \frac{W_c}{\omega_1} + (1,5A + 1,25R)\lambda \frac{D_0}{d_{\text{ш}}}, \quad (1)$$

где ω_1 - угловая скорость вращающегося кольца; λ - коэффициент трения качения (для приборных подшипников колеблется в пределах 0,001-0,0005см); D_0 - диаметр подшипника по центрам шариков; d - диаметр шариков; W_c - суммарная мощность, потребляемая при качении шарика по наружному W_n и внутреннему W_b кольцам шарикоподшипникам с учетом сопротивления смазки; $W_c = z(W_n + W_b)$, здесь z - число шариков.

Для наружного и внутреннего колец, затраты на мощность будут

$$W_{n./b.} = \frac{17,3\pi v^2 \mu \sqrt{\xi}}{(2\eta + 3\xi)\sqrt{\eta}}, \quad (2)$$

где v - скорость продольного передвижения точки качения при качении шарика по наружному и внутреннему кольцам; μ - вязкость масла.

$$v = \frac{\pi}{60} \frac{R_n R_b}{R_n - r_{\text{ш}}} n \quad (3)$$

где R_n и R_b - наружный и внутренний радиусы шарикоподшипника, $r_{\text{ш}}$ - радиус шарика; n - число оборотов подвижного кольца.

Значение коэффициентов η и ξ [2]

для внутреннего кольца

$$\eta_b = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_{\text{ш}}} - \frac{1}{r_{\text{ж}}} \right) \text{ и } \xi_b = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_{\text{ш}}} - \frac{1}{R_g} \right), \quad (5)$$

для наружного кольца

$$\eta_n = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_{\text{ш}}} - \frac{1}{r_{\text{ж}}} \right) \text{ и } \xi_n = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_{\text{ш}}} - \frac{1}{R_n} \right), \quad (6)$$

При заданном моменте $M_{\text{тр}}$, требуемом для устранения колебаний по выбранному валу редуктора, из соотношения (1) находится величина необходимая осевой нагрузке на подшипник

$$A = \frac{(M_{\text{тр}} - \frac{W_c}{\omega_1} - 1,25R\lambda \frac{D_0}{d_{\text{ш}}})d_{\text{ш}}}{1,5\lambda D_0}, \quad (7)$$

Конструкция блока шестерен 1, опирающегося на подшипник 2, первой ступени редуктора с упругой осевой нагрузкой в виде цилиндрической пружины 3 представлена на рисунке.

За счет создания упругой осевой нагрузки на подшипниковые опоры блока шестерен 1 удалось увеличить момент трения ($M_{\text{тр}}$) в его опорах до 3,8 мНм.

Применение такого технического решения позволяет устранить нелинейность в следящей системе автоматики и повысить плавность вращения выходного звена в диапазоне малых (0,01 град/с и менее) скоростей вращения рамки антенны.

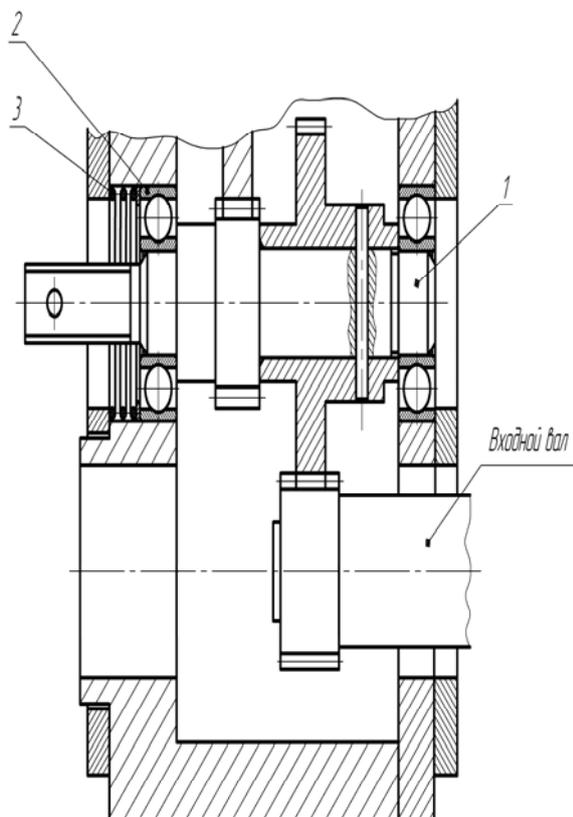


Рисунок. Конструктивная схема редуктора.

Одновременно введение упруговязкого демпфирующего звена на входной ступени редуктора увеличивает самоторможение выходного вала.

При приложении крутящего момента к выходному валу редуктора, последний начинает работать в режиме мультипликатора. Наличие момента $M_{\text{тр}}$ в опорах блока шестерен первой ступени вносит свой вклад наряду с другими блоками в момент самоторможения выходной ступени

$$\Delta M_c = M_{\text{тр}} i_p, \quad (8)$$

где i_p – передаточное число редуктора.

Таким образом, введение упруговязкого демпфирующего звена на входной ступени улучшает параметры редуктора, выполненного на прямозубых цилиндрических шестернях с эвольвентным зацеплением.

Литература:

1. Крахмалев С.И., Школьников В.М. Пластичные смазки для приборов и регулирующих устройств // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2007. № 5. С. 11.
2. Явленский К.Н. и др. Приборные шариковые подшипники. Справочник. М., «Машиностроение», 1981. 351 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАЩИТЫ ЗОНЫ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Чинахов Д.А., Зуев А.В.

Юргинский технологический институт Томского политехнического университета 652055,

Россия, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26,

E-mail: chinakhov@tpu.ru

Сварка и родственные технологии продолжают активно и всесторонне развиваться. Создаются теоретические и технологические предпосылки изготовления новых изделий в традиционных областях сварочного производства, а также освоение других сфер применения, которые раньше считались «экзотическими».

Конечным продуктом сварочного производства является сварная конструкция. Создание надежных и долговечных конструкций, работающих в различных условиях эксплуатации, остается важнейшей научно-технической задачей.

Не исключено, что в будущем, благодаря успехам в различных областях сварки, будут созданы новые способы соединения металлов и сплавов. Продолжаются поиски более совершенных способов и средств защиты расплавленного металла от влияния окружающей среды, новых средств и способов управления формированием сварных соединений. Это требует развития теоретических основ взаимодействия жидкого металла капли и сварочной ванны с окружающей защитной средой. Необходимо развивать представления о процессе образования сварного соединения, изучать газодинамику в зоне сварки и гидродинамику сварочной ванны с учетом множества внешних и внутренних факторов.

Одной из основных задач в теории сварочных процессов становится разработка полноценной математической модели сварки плавящимся

соединений из сталей различных марок и толщин при различной конфигурации швов и различном расположении их в пространстве; широкая возможность механизации и автоматизации процесса [1].

При сварке штучными плавящимися электродами с покрытием образуется сварочная ванна, заполненная расплавленным металлом, представляющая собой интенсивно перемешивающуюся смесь расплавленного металла изделия с металлом электрода. Малая окислительная способность электродных покрытий обеспечивает высокий коэффициент перехода легирующих элементов. В покрытие можно вводить их в необходимом количестве, что обеспечивает высокие механические и специальные свойства (коррозионную стойкость, теплостойкость, жаропрочность, хладостойкость, износостойкость и другие). Защита от атмосферы осуществляется газами, которые образуются при разрушении порошкового покрытия. Расплавленный шлак вытесняется на поверхность сварочной ванны, где он защищает сварной шов от воздействия атмосферы до завершения процесса кристаллизации.

При сварке под флюсом дуга утоплена в массе флюса и горит в жидкой среде расплавленного флюса, в газовом пузыре, образуемом газами и парами, непрерывно создаваемыми дугой. Заключенная дуга в газовом пузыре со стенками из жидкого флюса снижает потери металла на угар и разбрызгивание. Сварные швы получаются равномерными с высоким качеством за счет надежной защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом, его металлургической обработки и легирования расплавленным шлаком. Наличие шлака на поверхности шва уменьшает скорость кристаллизации металла сварочной ванны и скорость охлаждения металла шва, что приводит к увеличению ЗТВ [2].

При дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов применяют следующие способы газовой защиты: струйную местную защиту, общую защиту в камерах и двухструйную газовую защиту. По виду защитных газовых сред применяют инертные газы (аргон, гелий), активные газы (азот и CO_2) и их смеси. Свойства защитных газов оказывают большое влияние на технологические свойства дуги и геометрию сварных швов. При сварке в CO_2 обеспечивается хорошее проплавление свариваемых изделий и высокая производительность процесса. Однако для раскисления кислорода, образующегося во время диссоциации CO_2 , необходимо использовать проволоку с повышенным содержанием элементов раскисли-

электродом в среде защитных газов, которая будет учитывать все многообразие явлений процесса сварки. Увеличение номенклатуры материалов и областей их применения, повышение требований к прочности и долговечности соединений требует существенного углубления знаний в этой сфере и углубления исследований, в том числе дальнейшего совершенствования подходов к конструированию узлов и соединений, к учету особенностей их работы при различных условиях нагружения.

Современные способы сварки и применяемые сварочные материалы обеспечивают получение сварного шва с близкими к основному металлу химическим составом и механическими свойствами. Однако при сварке имеется ряд факторов, таких как условия выполнения сварочных работ, качество сварочных материалов, защита зоны сварки, термомеханическое воздействие, геометрическая форма соединений и другие. Не вызывает особого внимания к ним может привести к снижению качества сварных конструкций.

Интенсивное развитие сварки плавлением объясняется ее преимуществами по сравнению с другими способами сварки: высокая степень концентрации нагрева изделия, позволяющая значительно уменьшить зону термического влияния и коробление изделия после сварки; высокая производительность; возможность получения высококачественных

телек кремния и марганца. Это затрудняет прогнозирование свойств сварных соединений.

Сварка в инертных газах характеризуется стабильностью горения дуги. В инертных газах гелий по сравнению с аргоном имеет более высокий потенциал ионизации и большую теплопроводность при высоких температурах (плазма). Поэтому дуга в гелии более "мягкая". При равных условиях дуга в гелии имеет более высокое напряжение, а образующийся шов имеет меньшую глубину проплавления и большую ширину ЗТВ [1].

Струйная защита относится к наиболее распространенному способу местной защиты при сварке плавящимся электродом. Скорость кристаллизация металла шва может управляться расходом защитного газа и расстоянием от среза сопла до поверхности свариваемого металла [1]. При сварке со струйной защитой обеспечивается защита только зоны расплавления. При этом возможен подсос воздуха в реакционную зону сварки, что ухудшает свойства сварного шва. Для улучшения защиты в ряде случаев, особенно при сварке активных металлов, применяют местные камеры. Общая защита в герметичных камерах обеспечивает наиболее высокую степень защиты металла от атмосферы в процессе сварки. Это необходимо при сварке особо активных металлов и сплавов (например, титана, циркония, молибдена, тантала, ниобия и сплавов на их основе).

С помощью газовой среды можно регулировать температуру сварочной дуги за счет понижения или увеличения электропроводности составов смеси газов и подачи их в зону сварки. Вследствие этого можно управлять тепловложением в сварное соединение. Для изменения характеристик процесса сварки в защитных газах разработаны и применяются различные схемы его ведения: введение в дуговой промежуток активных веществ; изменение давления и состава газа; наложение на электрод, дугу или сварочную ванну магнитных полей разной конфигурации. Управление процессами в зоне сварки обеспечивает получение требуемых свойств сварных соединений [1, 3, 4].

При сварке плавящимся электродом дуга горит между изделием и непрерывно подающейся расплавленной электродной проволокой (ЭП). Расплавленный металл ЭП в виде жидких капель различных размеров переходит в сварочную ванну и участвует в формировании шва. Изменение условий защитной среды приводит к изменению напряжения на дуге, что оказывает влияние на химический состав и механические свойства

металла шва. Увеличение напряжения на дуге приводит к интенсивному выгоранию кремния и марганца [1, 2, 5, 6].

При сварке в защитных газах на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести F_T ; сила поверхностного натяжения $F_{ПН}$; электродинамическая сила $F_{Эд}$; реактивное давление испаряющегося с поверхности капли металла и выделения газа F_R ; сила давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами $F_{П}$. Помимо этих сил, в ряде случаев, оказывает существенное влияние сила действия струи защитного газа [1, 6].

Размер капель электродного металла зависит от состава металла и защитного газа, направления и величины тока. С увеличением сварочного тока растет электродинамическая сила, а размер капель расплавленного металла уменьшается. Когда ток сварки достигает критического состояния капельный перенос металла переходит в струйный.

На величину критического тока оказывает влияние поверхностное натяжение металла. Эти две величины находятся

в прямой зависимости: чем больше поверхностное натяжение металла, тем больше критический ток и наоборот [1, 2]. Изменить критический ток можно, составляя различные газовые смеси. При добавлении к основному газу азота или водорода критический ток повышается, а добавление кислорода снижает его значение.

В ЮТИ ТПУ разработан способ сварки с двухструйной газовой защитой [7, 8], который обеспечивает жесткость внутренней струи подаваемого газа (рис. 1), защиту околошовного металла, снижает завихрение в околошовной зоне и исключает подсос воздуха в зону сварки. Управление газодинамическим давлением внутренней струи защитного газа позволяет воздействовать на жидкий металл капли и сварочной ванны, приводит к интенсивному перемешиванию расплавленного электродного металла с основным, увеличивает скорость охлаждения и сокращается время пребывания металла шва и ЗТВ в области высоких температур. Внешняя кольцевая струя обеспечивает надежную защиту зоны сварки от влияния атмосферы

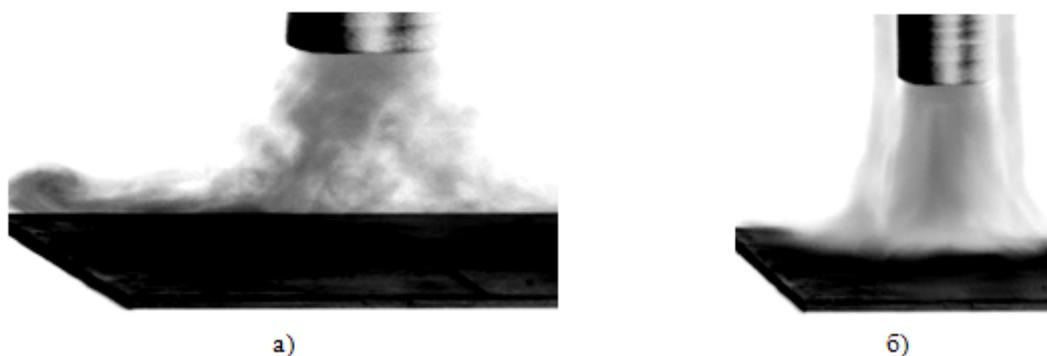


Рис. 1. Сварка в защитном газе: а) одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

У всех способов сварки плавящимся электродом в среде защитных газов есть свои достоинства и недостатки. Управление эксплуатационными свойствами сварных соединений зависит от выбора способа и режимов сварки, позволяющие получать сварное соединение с требуемыми механическими и специальными свойствами. Однако универсальный способ сварки, обеспечивающий 100% равнопрочность и качество соединений с учетом разных внешних условий ведения процесса, еще не разработан.

Разработанный в ЮТИ ТПУ способ сварки с двухструйной газовой защитой обеспечивает направленный перенос капель электродного металла в сварочную ванну и увеличивает частоту их переноса, стабильность горения дуги и качества получаемых сварных соединений. Обеспечивает жесткость внутренней струи подаваемого газа и снижает завихрение в околошовной зоне, что особенно важно при сварке в полевых условиях.

Список литературы:

1. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение. – 1974. – 240 с.
2. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела: Учеб. для техникумов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. – 1991. – 239с.

3. Елагин А.В., Наумов В.Г. Сварка в среде защитных газов. – 2-е изд. доп. – М.: Стройиздат. – 1971. – 192 с.

4. Котвицкий А.Д. Сварка в среде защитных газов. – М.: Высш. школа. – 1974. – 222 с.

5. Гребенчук В.Г., Карасев М.В., Работинский Д.Н., Карасева С.М., Розерт Р. Влияние режимов механизированной сварки металлопорошковой проволокой роVVER BRIDGE 60M на свойства наплавленного металла при сварке мостовых конструкций // Сварка и диагностика – 2009, № 1. – С. 19-24.

6. Чинахов Д.А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 151 с.

7. Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. Способ сварки: Патента на изобретение № 2233211 (РФ). Приоритет от 27.05.2003. 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Оpubл. 27.07.2004. Бюл. № 21.

8. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография / Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 114 с.

СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Ивкина О.П., Черемнов А.В.

Научный руководитель: Ан И-Кан, д.т.н., проф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: MiaRaikon@yandex.ru

При проектировании приводов механизмов и машин, приходится решать вопрос, связанный с выбором типа механической передачи. Большое влияние на выбор типа передачи имеет угол передачи движения. Не малое значение играет и опыт, имеющийся на данном предприятии. Наиболее распространены передачи с параллельными, пересекающимися или перекрещивающимися под углом 90° валами. В том случае, если необходимо передать движение между валами, пересекающимися под углом отличным от 90° , приходится принимать неординарные решения, вызывающие определенные трудности на производстве.

Данную задачу можно решить дополнительной установкой карданного шарнира, что в свою очередь приводит к усложнению механизма и увеличению габаритных размеров. Другим вариантом решения является применение конических передач на основе эвольвентного зацепления. Такой вариант наиболее прост. Однако вместе с простотой мы сталкиваемся и со всеми недостатками, присущими данному типу передач: неравномерность износа зубьев, скольжение в сопряженной паре и связанный с ним нагрев передачи.

Немаловажным показателем качества зацепления является КПД. Как известно [1], КПД зубчатой передачи с цилиндрическими зубчатыми колесами (прямозубыми и косозубыми), которым учитываются потери на трение только в зацеплении, определяются по формуле

$$\eta_3 \approx 1 - 2,3f \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right),$$

(1)

где f – коэффициент трения скольжения ($f=0,05 - 0,10$); z_1, z_2 – числа зубьев колес.

Из уравнения (1) следует, что при неизменном числе зубьев колес имеется два пути повышения КПД передачи: применение внутреннего зацепления взамен внешнего и, наиболее эффективный вариант, это переход от трения скольжения к трению качения. Заменяя в (1) коэффициент трения скольжения f на коэффициент трения качения k получим

$$\eta_3 \approx 1 - 2,3k \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right).$$

Исходя из вышесказанного, наиболее перспективным вариантом в этом случае, является применение передач с промежуточными телами качения. В работе [2] представлена передача, позволяющая передать движение под углом отличным от 90° .

Кинематическая схема данной передачи приведена на рисунке 1.

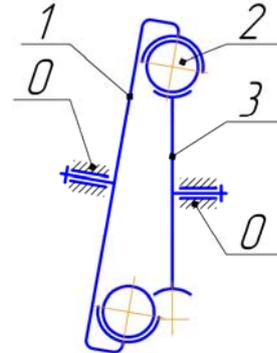


Рис. 1. Кинематическая схема шариковой передачи. (0 – стойка; 1 – колесо; 2 – тело качения; 3 – шестерня).

Рассмотрим приведенную на рисунке 1 схему передачи с позиции структурного анализа. Предположим, что в контакте находится только одно тело качения, тогда будем иметь три подвижных звена. При этом между стойкой 0 и колесом 1 будем иметь одноподвижную пару пятого класса p_5 , колесо 1 и тело качения 2 образуют кинематическую пару третьего класса p_3 , тело качения 2 и шестерня 3 образуют кинематическую пару второго класса p_2 , шестерня 3 и стойка 0 образуют кинематическую пару пятого класса p_5 . Помимо этого следует учесть, что тело качения вносит три местных подвижности. Для анализа данной схемы воспользуемся известной формулой Сомова-Мальшева

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 - W_M,$$

(2)

здесь n – количество подвижных звеньев; p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – количество кинематических пар пятого, четвертого, третьего, второго и первого класса соответственно; W_M – количество местных подвижностей.

Подставив значения в формулу 1, получим

$$W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 - 0 - 3 = 0.$$

Это свидетельствует о том, что в приведенной на рисунке 1 передаче имеется одна пассивная связь. Для обеспечения работоспособности передачи необходимо повысить класс одной из кинематических пар. Единственной кинематической парой, в которой имеется возможность перейти на более высокий класс без нарушения кинематики передачи, является пара тело качения – шестерня. Заменяем пару второго класса p_2 на пару первого класса p_1 . На рисунке 2 продемонстрирована данная замена. Тогда решая уравнение (1), будем иметь

$$W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 1 - 3 = 1$$

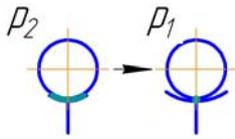


Рис. 2. Переход от поверхностного контакта к точечному.

Анализируя кинематическую схему передачи, приведенную на рисунке 1, можно обратить внимание, что тело качения 2, перекатываясь по шестерне 3, скользит в пазах колеса 1. Это обстоятельство заставляет нас искать другие, более рациональные варианты.

Разнесем функции колеса. Для этого введем дополнительное звено, и передадим ему силовую функцию. Сепаратор же будет в данном случае только удерживать тела качения на заданном расстоянии (рис. 3).

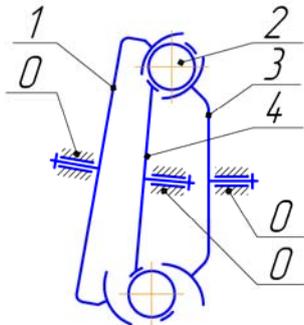


Рис. 3. Кинематическая схема энергоэффективной передачи с промежуточными телами качения.

В кинематической схеме (рис. 3), стойка 0 и колесо 1 образуют одноподвижную пару пятого класса p_5 , колесо 1 и тело качения 2 образуют кинематическую пару первого класса p_1 , тело качения 2 и шестерня 3 образуют кинематическую пару первого класса p_1 , шестерня 3 и стойка 0 образуют кинематическую пару пятого класса p_5 , сепаратор 3 и тело качения 2 образуют пару третьего класса p_3 , сепаратор 3 и стойка 0 образуют пару пятого класса p_5 . Тело качения вносит три местные подвижности. По (1) найдем

$$W = 6 \cdot 4 - 5 \cdot 3 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 2 - 3 = 1.$$

Не трудно заметить, что передача, схема которой представлена на рисунке 3, является двухступенчатым вариантом передачи приведенной на рисунке 1. Однако, сепаратор 4 и цепочка промежуточных тел в схеме, выполненной по рисунку 3, являются паразитным колесом. Следует также отметить, что схема (рис. 3) сложна в изготовлении, т.к. требует дополнительной опоры сепаратору. Что в свою очередь влияет на КПД передачи в целом.

Определим, при каком количестве тел качения мы можем убрать опору сепаратора, сохранив ра-

ботоспособность передачи. Уберем опору сепаратора, и постепенно будем увеличивать число тел качения.

Анализ показывает, что при числе тел качения равном четырем мы можем полностью избавиться от опоры сепаратора 4 (рис. 3), но при этом будем иметь одну пассивную связь

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 4 - 2 \cdot 0 - 8 - 12 = 0.$$

Отметим также, что сепаратор имеет достаточно малую толщину. Вследствие этого, можно, не нарушая целостности конструкции, заменить пару третьего класса на кинематическую пару второго класса. Кинематическая схема такой передачи приведена на рисунке 4.

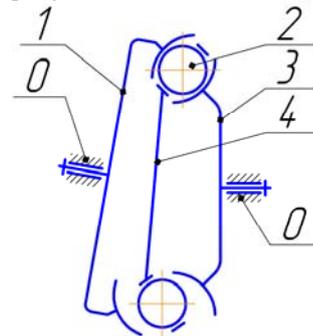


Рис. 4. Кинематическая схема дисферической передачи с промежуточными телами качения.

Определим подвижность передачи (рис. 4), при участии в передаче движения четырех тел качения

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 0 - 2 \cdot 4 - 8 - 12 = 4.$$

Наличие такой подвижности передачи может привести к смещению сепаратора и заклиниванию.

Дальнейший анализ показывает, что передача (рис. 4) становится работоспособной при количестве тел качения равном семи

$$W = 6 \cdot 10 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 0 - 2 \cdot 7 - 14 - 21 = 1.$$

Таким образом, получим самоустанавливающуюся передачу с промежуточными телами качения, выполненную по схеме, приведенной на рисунке 4. Дальнейшее увеличение тел качения приведет к появлению пассивных связей. Каждое последующее тело качения внесет в систему одну дополнительную пассивную связь. Это утверждение справедливо только в том случае, когда каждое из тел качения контактирует одновременно с двумя колесами, чего можно достичь при малой разности зубьев колес, если в качестве формообразующей поверхности выступает коническая поверхность, либо выполнением передачи на сферической поверхности.

Литература:

1. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи / Москва. 1966. 308 с.
2. Беляев А.Е., Ан И-Кан. Шариковая передача. Авторское свидетельство №261072.

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ДЕФОРМИРУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ВОЛОЧЕНИ КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

Колесникова С.Ю., Сергеев Ю.А.

Научный руководитель: Каргин Б.В., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: Lana-kolesnikova@mail.ru

Приведены результаты компьютерного моделирования

процесса волочения круглых изделий в конические волокна для анализа распределения контактных напряжений с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в специализированном программном комплексе DEFORM-2D.

Производительность процесса волочения круглых изделий (прутков, проволоки) во многом зависит от стойкости деформирующего инструмента, преобладающим видом разрушения которого является кольцевой износ. Основной причиной образования кольца износа является большой градиент контактных напряжений в окрестности входа заготовки в рабочую зону [1-4].

Практический интерес представляет изучение распределения нормальных и касательных напряжений на контактной поверхности с целью выявления их влияния на инструмент в зависимости от основных параметров процесса и геометрии волокна.

Результаты расчётов при компьютерном моделировании показывают наличие двух экстремумов нормального давления в местах начала деформации в обжимной зоне волокна и при переходе обжимной зоны в калибрующий пояс. На этих участках резко меняются направления линий течения металла заготовки, возрастает угол их поворота, что и приводит к скачкообразному возрастанию нормального давления протягиваемого металла на рабочую поверхность волокна. Положение области максимальных значений контактных напряжений и величина провала на эпюре зависит от вытяжки и рабочего угла волокна и в меньшей степени от коэффициента трения на поверхности контакта.

Как видно из рис.1, при уменьшении угла обжимной зоны максимумы эпюры распределения нормальных давлений сдвигаются влево ко входу заготовки в канал волокна и вправо к калибрующему пояску. При росте угла α нормальное давление уменьшается, особенно интенсивно при $\alpha=15^\circ$.

При увеличении коэффициента вытяжки на рис.2 видно, что максимум давления на входе в рабочий канал волокна сдвигается вправо. При коэффициенте вытяжки равным 1,15 максимальное значение нормального давления наблюдается при переходе заготовки в калибрующую часть волокна.

Значения касательных напряжений, обусловленные растущим трением металла о поверхность инструмента в среднем убывают с

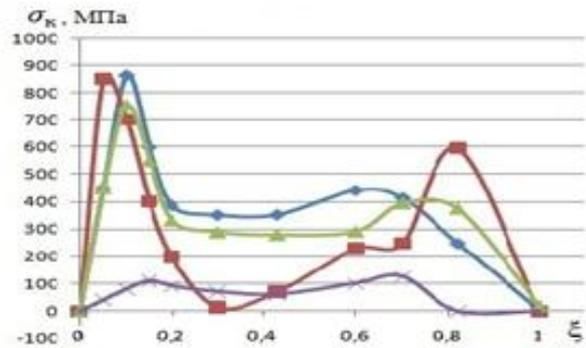


Рис.1. Эпюра распределения нормального давления на границе заготовка – волокна в зависимости от рабочего угла волокна, $\mu=0,12$; $\lambda=1,2$; (—■— $\alpha=6^\circ$; —▲— $\alpha=9^\circ$; —◆— $\alpha=12^\circ$; —×— $\alpha=15^\circ$)

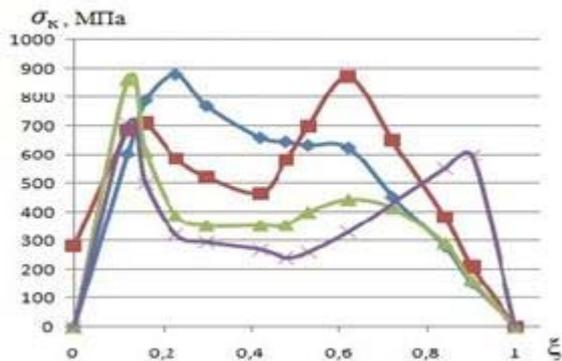


Рис.2. Эпюра распределения нормального давления на границе заготовка – волокна в зависимости от коэффициента вытяжки, $\alpha=12^\circ$, $\mu=0,12$; (—◆— $\lambda=1,05$; —■— $\lambda=1,15$; —▲— $\lambda=1,2$; —×— $\lambda=1,35$)

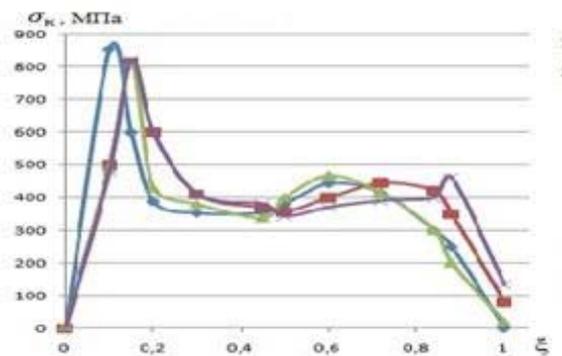


Рис.3. Эпюра распределения нормального давления на границе заготовка – волокна в зависимости от коэффициента трения, $\alpha=12^\circ$, $\lambda=1,2$; (—▲— $\mu=0,06$; —■— $\mu=0,09$; —◆— $\mu=0,12$; —×— $\mu=0,15$)

уменьшением рабочего угла волоки и коэффициента вытяжки, ввиду уменьшения контактной поверхности и абсолютных размеров площади граничного контакта заготовка-волокна, рис. 1-3.

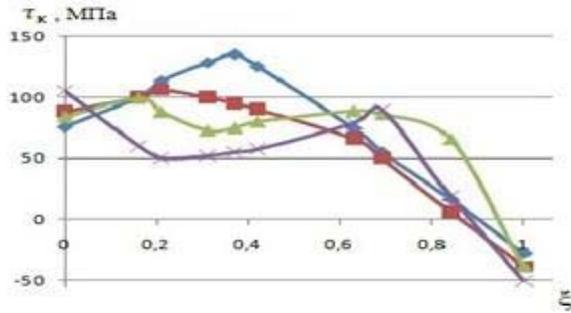


Рис.4. Эпюра распределения касательного напряжения на границе заготовка – волокна в зависимости от коэффициента вытяжки, $\alpha=12^\circ$, $\mu=0,12$; (\blacklozenge $\lambda=1,05$; \blacksquare $\lambda=1,15$; \blacktriangle $\lambda=1,2$; \blackcross $\lambda=1,35$)

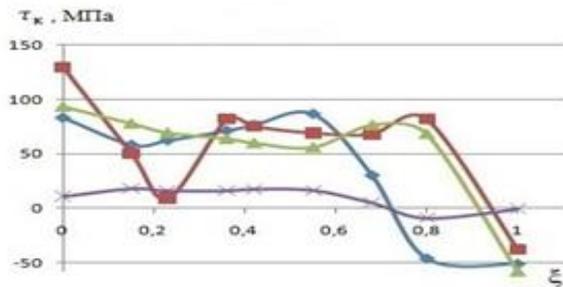


Рис.5. Эпюра распределения касательного напряжения на границе заготовка – волокна в зависимости от рабочего угла волоки, $\mu=0,12$; $\lambda=1,2$; (\blacksquare $\alpha=6^\circ$; \blacktriangle $\alpha=9^\circ$; \blacklozenge $\alpha=12^\circ$; \blackcross $\alpha=15^\circ$)

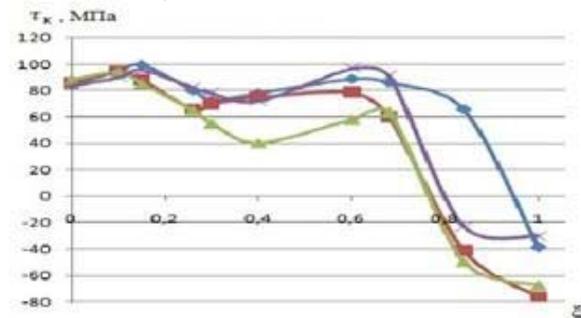


Рис.6. Эпюра распределения касательного напряжения на границе заготовка – волокна в зависимости от коэффициента трения, $\alpha=12^\circ$, $\lambda=1,2$; (\blacktriangle $\mu=0,06$; \blacksquare $\mu=0,09$; \blacklozenge $\mu=0,12$; \blackcross $\mu=0,15$)

При переходе из обжимной зоны в калибрующую часть, касательные напряжения переходят из растягивающих в сжимающие. Смена знака накладывает дополнительные нагрузки на материал в очаге деформации.

Как видно из рис.3, коэффициент трения μ не оказывает существенного влияния на распределение нормальных и касательных напряжений.

При разрезе волоки после эксплуатации вдоль образующей отчетливо видны кольца износа на входе и выходе из рабочей зоны. Расположение колец износа совпадает с экстремумами нормальных давлений в канале волоки, полученными в процессе моделирования, представленными на рис.4 в виде линий равного уровня.

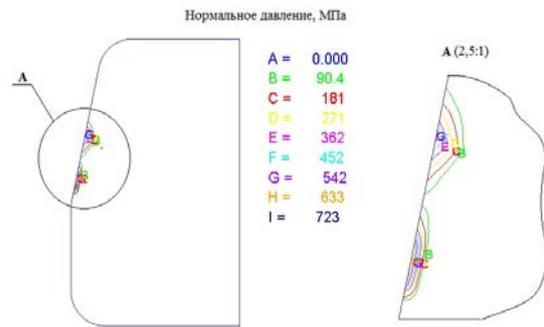


Рис.7. Линии равного уровня распределения нормального давления в рабочем канале волоки

В связи с изложенным для повышения стойкости волок рекомендуется локальное упрочнение кольцевых зон на входе и выходе из обжимной зоны волоки, например, с помощью лазерной обработки, азотирования.

Список литературы

1. Перлин И.Л. Теория Волочения//М.З. Ерманок. – М.,Металлургия, 1971. – 448 с.
2. Леванов А.Н. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением // В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин. – М.: Metallurgy, 1976. – 416 с.
3. Щукин С.В. Исследование на базе конечных элементов напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении // Известия вузов/Ю.И. Рыбин Черная металлургия.-1993. - №6.- С. 31-34.
4. Pawelski O. - Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1967. - №12.- С.899-904.
5. Каргин В.Р. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM – 2D // А.П. Быков, Б.В. Каргин, Я.А. Ерисов. – Самара: Изд-во МИР, 2011. – 170 с

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА ТИТАНА ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Коровянский А.В., Сачков В.И., Макаеев Ю.Н.

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

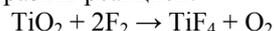
СТИ НИЯУ МИФИ, 636036, Россия, Томская область, г. Северск, пр.Коммунистический, 65

E-mail: kantonv@mail.ru

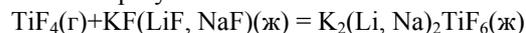
Титан и его сплавы обладают великолепными механическими свойствами, непревзойденной коррозионной стойкостью и выдающейся биосовместимостью, а так же имеют большой потенциал применения в различных сферах. Однако его потребление ограничено аэрокосмической и некоторыми другими областями промышленности из-за высокой стоимости металлического титана. Технология производства металлического титана чрезвычайно сложна и только менее 5 % всего добываемого в мире титанового сырья используют для выплавки металла. Такая высокая цена заложена в основном применяемом методе получения титана (процесс Кроля), который является сложным и нуждается в периодической остановке процесса восстановления. В дополнение отдельные расходы на переработку губки в конечную продукцию составляет около 25 % от ее стоимости [1]. Одним из путей снижения цены на изделия из титана является порошковая металлургия. Большая экономия достигается за счет уменьшения потерь и отходов металла на обточку слитков и на стружку и высечки при изготовлении изделий резанием или штамповкой из листовых, прутковых, литых и прокатанных заготовок. Только применение порошковой металлургии позволяет изготавливать всевозможные пористые изделия, детали сложных форм. Маленькие детали, выпускаемые большими партиями гораздо выгоднее производить из порошков. Порошкообразный титан и его сплавы непосредственно применяются: в пиротехнике, в качестве инертного наполнителя для некоторых изделий из пластмасс, для геттеров, некоторых катализаторов и т.д. Основными методами получения порошков титана на данный момент являются: гидрирование-дегидрирование титана, механическое измельчение губчатого титана, плазмохимический синтез и электролитическое получение порошков титана в расплавах солей [2]. Большие усилия были приложены для развития альтернативных процессов получения дешевого металлического титана. Обширные изучения электрохимического разложения хлоридов и оксидов титана в расплавленных солях привели к развитию процессов электрохимического восстановления, таких как FFC, OS, EMR и PRP [3]. Электрохимическое восстановление исключает использование металла-восстановителя и этап его регенерации из его хлоридов электролизом, что позволяет упростить технологическую схему и снизить стоимость конечной продукции. Однако на данный момент ни один электрохимический процесс пока не получил промышленного применения и не использует для электрохимического получения титана и его сплавов напрямую. Качество порошка получаемого

электролизом сравнимо с получаемым йодидным методом.

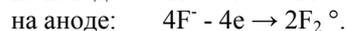
Нами была предложена технологическая схема получения высокочистых порошков титана электролитическим разложением тетрафторида титана, которые могут в дальнейшем использоваться в порошковой металлургии. Принципиальная технологическая блок-схема представлена на рисунке 1. Первый этап предполагает получение тетрафторида титана пригодного для электролиза и в ряде случаев для металлотермии из титаносодержащего сырья в никелевом реакторе прямым фторированием элементарным фтором. В качестве исходного титаносодержащего сырья могут выступать титановые концентраты, отходы титанового производства. Процесс фторирования диоксида титана можно выразить реакцией:



Процесс протекает с саморазогревом продуктов до 300-350 °С. Степень фторирования оксида титана при температуре 200 °С находится в пределах 95,0-97,0%. Полученный газообразный тетрафторид титана отделяется от нелетучих примесей и затем конденсируется. Вторым этапом является непосредственное получение металлического титана. Перед проведением электролиза необходимо подготовить расплав электролита. В качестве электролита была выбрана низкоплавкая ($t_{\text{пл}}=472$ °С) эвтектическая смесь фторидов щелочных металлов (0,5 М LiF - 0,39 М KF - 0,11 М NaF) [4] называемая флиаком. После расплавления фторидных солей электролизер герметизируется, и заполняется инертным газом. Полученный TiF_4 сублимируется и порциями подается в расплав в газообразном состоянии. Процесс насыщения электролита сопровождается значительным выделением тепла. При растворении TiF_4 во фторидной эвтектике образуется комплексная соль:



При подаче на электроды постоянного тока в электролизере протекают процессы:



Таким образом, на катоде происходит выделение порошка титана (катодный осадок), а на аноде - элементарного фтора (F_2). Катодный осадок (порошок титана в смеси с электролитом) срезается ножами с катода электролизера и собирается в приемной емкости, являющейся принадлежностью электролизера. Образующийся на анодах элементарный фтор (F_2) собирается под крышкой электролизера, а затем после очистки от аэрозолей направляется на поглощение, регенерацию и затем возвращается в цикл. Выведенный из электролизера электролит восполняется новыми его порциями.

Для этого из бункера загрузочного устройства электролизера после каждого среза и вывода катодного осадка шнеком подается порошок электролита. На завершающем этапе полученный катодный осадок (порошок титана с электролитом) извлекается из приемной емкости электролизера (по мере ее заполнения) и отправляется на отмывку и затариванию конечной продукции. Полученный товарный порошок титана может направляться на нужды порошковой металлургии или применяться для синтеза важнейших соединений титана (оксиды, карбиды, бориды, нитриды, гидриды и т.д.).

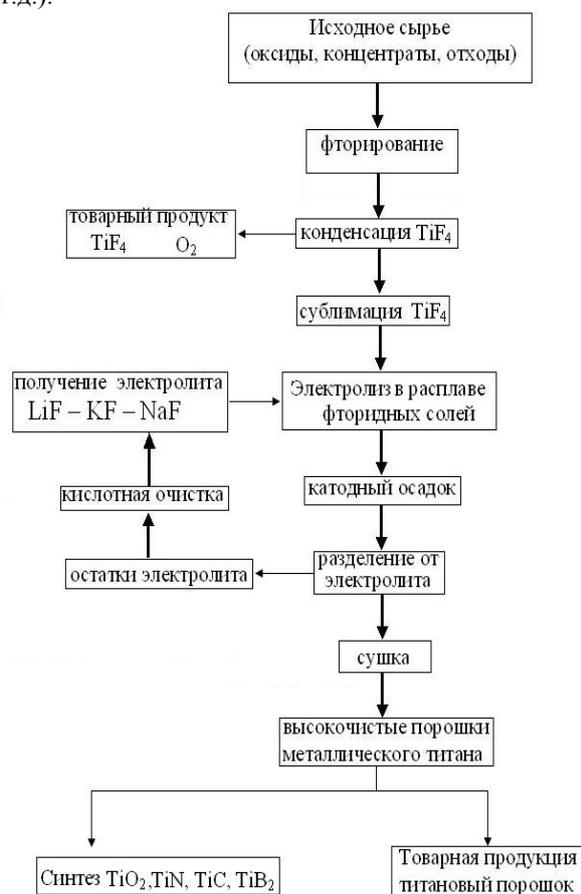


Рис. 1. Технологическая схема получения порошка титана электролизом фторида титана

Предложенная нами схема получения порошков металлического титана имеет следующие преимущества:

- исключает сброс фтора и химически вредных веществ в окружающую среду
- обладает замкнутостью технологических процессов

процесс протекает при умеренных температурных режимах

- отсутствуют взрывоопасные процессы
- высокая производительность оборудования
- возможность автоматизации процессов
- возможность использования различного исходного титаносодержащего сырья

низкая себестоимость конечной продукции

Применение электролитического способа получения титана позволяет снизить его стоимость за счет исключения из технологической схемы применения металла-восстановителя и стадии его регенерации. К тому же данная схема является замкнутой и экологически безопасной. Гибкая технологическая схема дает возможность применения различного титаносодержащего сырья и быстрое переключение с одного вида сырья на другое. Применение низкоплавкой эвтектической солевой системы позволяет снизить температуры процесса и как следствие энергетические затраты. Кроме того получение непосредственно порошка является более экономически выгодным, чем получение губки. Полученные высокочистые порошки титана могут применяться как в порошковой металлургии, или для производства геттеров, так и для получения различных соединений титана.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Список литературы

- Hartman A.D., Gerdeman S.J., Hansen J.S. Producing Lower-Cost Titanium for Automotive Applications // JOM. - Sept. 1998. - P.16-19.
- И.Ф. Червоный, Д.А. Листопад, альтернативные технологии производства титана, Запорожская государственная инженерная академия, выпуск 22, 2010 г.
- Wang Bixia, ZhouLianb, Lan Xinzhea, Zhao Xichenga and Cui Jingtaoc, Rare Metal Materials and Engineering, Volume 39, Issue 9, September 2010, Pages 1513-1518
- Карелин В.А., Карелин А.И. Фторидная технология переработки концентратов редких металлов. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 184 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ ФАСОК У ДЕРЕВЯННЫХ КУБИКОВ

Манеев А.С., Крауиньш П. Я., Мымрин Н. Ю.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: antonio88@sibmail.com

В настоящее время наблюдается тенденция изготовления детских игрушек из натуральных материалов. Поэтому большой сегмент на рынке игрушек занимают изделия из дерева. Одно из предприятий, выпускающее деревянные наборы для детей, имеет в номенклатуре кубики, у которых необходимо обрабатывать не только грани, но и ребра с целью понижения травмоопасности игрушек. В связи с этим возникла задача снятия фасок у кубиков в условиях достаточно крупного производства. Выполнение этой операции в ручную требует сравнительно больших затрат, работа оказывается утомительной, возникающая пыль оказывает вредное воздействие на органы дыхания рабочего, поэтому возникает задача автоматизация снятия фасок. Сложность задачи заключается в необходимости обработки 12 ребер у каждого кубика. Что требует создание сложного устройства или разработки специальной транспортной схемы движения кубика.

Можно использовать несколько способов для построения автоматического или автоматизированного устройства. Первый и наиболее очевидный из них основан на применении движущейся «бесконечной» наждачной ленты. Она расположена на двух роликах, один из которых ведущий другой – ведомый. Все эти элементы находятся на одном блоке, который жестко закреплен к корпусу портала, через который проходят кубики. Кубики подаются толкателем. Недостатки этого способа связаны с невысокой идентичностью фасок на разных ребрах, а так же быстрым появлением выработки на ленте. Последнее можно устранить за счет дополнения устройства специальным механизмом поперечного возвратно-поступательного смещения ленты. Такая конструкция является сложной, объемной и дорогой, при этом понижается ее надежность, что является большим недостатком в условиях большого объема производства.

Еще один очевидный способ основан на использовании специального режущего инструмента – фасонной фрезы. Инструмент может быть расположен на портале, через который подаются кубики, как и в первом случае при помощи толкателя в зону резания, что позволяет снимать фаску у ребер. Недостатки этого подхода: высокая стоимость фасонной фрезы, неравномерность фасок, т.к. размеры кубика могут отличаться друг от друга. Последнее может происходить на стадии изготовления заготовок кубиков, но главное из-за изменения влажности в помещениях.

С целью устранения отмеченных недостатков двух первых способов рассмотрен вибрационный метод. Известные вибрационные устройства ори-

ентирования деталей, их перемещение, поочередной выдачи на рабочие позиции и т.д. Поэтому возникло предложение использовать вибрационный способ перемещения, совместив его с операцией обработки ребер. Конструкция устройства для снятия фаски с ребра кубика показана на рисунке 1.

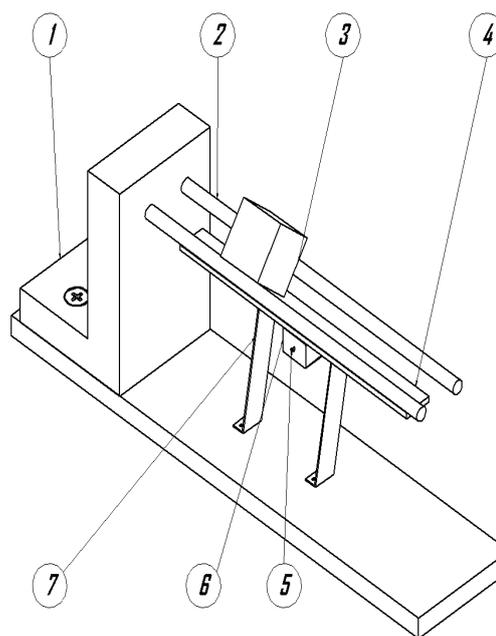


Рис. 1. Конструкция устройства для обработки ребер кубиков

Устройство состоит из стойки 1 на которой крепятся две направляющие 2, пластины 4 с наклеенной наждачной бумагой, двигателя 6, который крепится к пластине 4 снизу, эксцентрика 5, находящегося на конце вала двигателя, и пары гибких опор 7. Принцип работы установки заключается в следующем. При включении двигателя пластина 4 начинает колебаться в продольном направлении относительно ребра кубика, источником вибрации является эксцентрик 5. При этом кубик перемещается в сторону наклона гибких опор 7. Возникающее трение кубика о наждачную бумагу снимает часть материала ребра. Построенный макет устройства продемонстрировал его работоспособность и достаточную производительность, которую можно оценить как обработку одного ребра в секунду. Имеется возможность повышения производительности установки. Для этого необходимо провести аналитические расчеты и эксперименты, направленные на поиск оптимальных соотношений параметров, включая частоту и амплитуду вибраций.

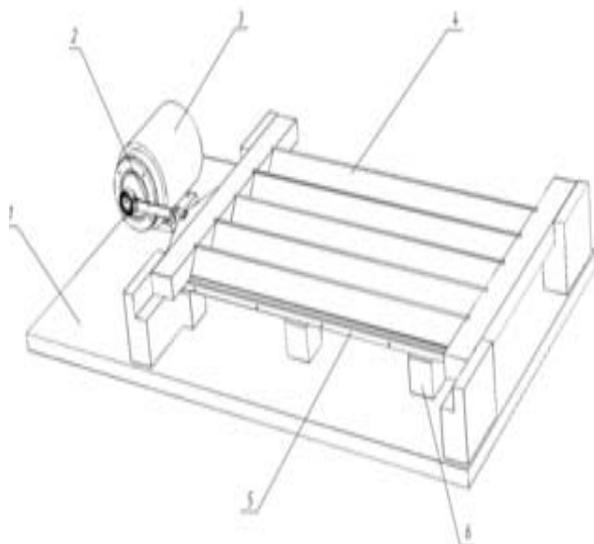


рис. 2. Конструкция автоматизированного устройства для обработки ребер кубиков

В ходе исследований и экспериментов была модернизирована изначальная установка автоматизированного устройства. Оно состоит из рис. 2. Конструкция автоматизированного устройства для обработки ребер кубиков платформы 1, на которой крепятся все элементы конструкции, электродвигателя 3, шатуна 2 с эксцентриком, находящегося на конце вала двигателя, направляющих 4, жестко связанных с платформой 1, пластины с абразивной лентой 5, опор 6 и фторопластовых направляющих, прикрепленных к опорам 6. Процесс обработки ребер кубиков происходит следующим образом. Двигатель 3 приводит в возвратно – поступательное движение пластину 5 при помощи шатуна 2 с эксцентриком. Кубики лежат на направляющих 4 и касаются ребрами пластины 5. Тем самым при движении пластины 5 происходит обработка ребер кубиков.

Для этой установки была разработана математическая модель, описывающая движение платформы 1 при процессе обработки кубиков.

$$M \frac{d^2 x_2}{dt^2} = x_0 \cdot \omega^2 \cdot m \cdot \sin \omega t \quad (1), \text{ где}$$

M – масса платформы,
 ω – частота работы двигателя, равная 50 Гц,
 m – масса пластины 5, равная 1 кг,
 x_0 – амплитуда перемещения пластины 5, равная 0,3 см,

$$\omega^2 = (50 \cdot 2\pi)^2 \approx 10^5 \text{ рад} / \text{с}^2$$

Проинтегрируем уравнение (1) по t :

$$\int M dV_2 = \int_0^t (x_0 \cdot \omega^2 \cdot m \cdot \sin \omega t) dt;$$

получим связь между текущей скоростью V_2 платформы и скоростью пластины

$$M \frac{dx_2}{dt} = \frac{x_0 \cdot \omega^2 \cdot m}{\omega} \cdot \cos \omega t \quad (2);$$

Уравнение (2) интегрируем по t , получим следующее выражение:

$$M \cdot x_2 = -\frac{x_0 \cdot \omega \cdot m}{\omega} \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

Из полученного уравнения (3) находим амплитуду колебаний платформы 1 x_2

$$x_2 = -\frac{x_0 \cdot m}{M}$$

Таким образом, путем увеличения массы платформы можно уменьшить амплитуду колебаний платформы до допустимых по санитарным нормам уровня.

Список литературы:

- 1) Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под редакцией д-ра техн. наук проф. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с., ил.
- 2) Основы теории вибрационной техники. Быховский И. И., М., «Машиностроение», 1968, 362 стр.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Петров В.С.

Научный руководитель: Зиновьев Н.Т., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Bally99@mail.ru

В настоящее время актуальной является задача по утилизации железобетонных изделий (ЖБИ) в частности железобетонных шпал и опор электроконтактной сети железных дорог.

В ближайшие годы объемы этих отходов должны значительно увеличиться за счет демонтажа сборных железобетонных конструкций, сроки амортизации которых истекли, а также ежегодно возрастающих объемов реконструкции.

Существующие методы разрушения бетона, основанные на различных физических явлениях, различаются типом рабочего инструмента, производящего разрушение, технико-экономическими показателями, областью применения. Общие принципы создания технологического оборудования по переработке некондиционного железобетона, как в нашей стране, так и за рубежом базируются на возможности применения существующего дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке камня из карьеров [1]. Однако, наличие арматуры в железобетоне накладывает особые требования при его утилизации.

НИ ТПУ предлагает осуществлять утилизацию железобетонных изделий в два этапа [2]:

- на первом этапе извлекать арматуру из некондиционных ЖБИ;
- на втором дорабатывать некондиционные фракции бетона до размеров пригодных к повторному использованию.

Для извлечения арматуры из бетона наиболее перспективна электроразрядная (электроимпульсная) технология (рис.1). Принцип действия этой технологии основан на комплексе явлений, возникающих при электроимпульсном разряде в конденсированных средах (в нашем случае воде и бетоне). При подаче высоковольтного импульса (~350кВ, энергией ~7кДж) на разрядный промежуток (бетон), образованный электродом и заземленной арматурой железобетонного изделия, происходит его пробой, сопровождающийся появлением токопроводящего канала. В канале развивается высокое давление до $(3..5) \cdot 10^2$ МПа канал расширяется, формируется ударная волна, которая вместе с потоком жидкости, образующейся при расширении парогазовой полости канала разряда, разрушает бетон.

Металлическая арматура при разрушении бетона практически не деформируется и в некоторых случаях пригодна к повторному использованию.

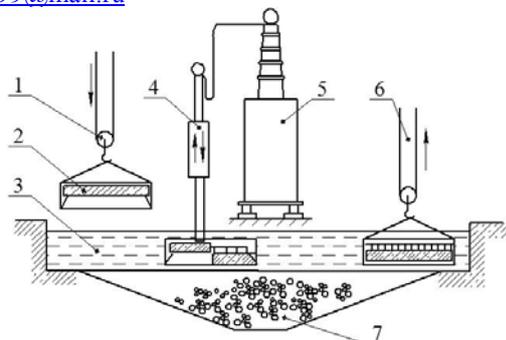


Рис.1 Технологическая схема ЭИ - установки для утилизации железобетонных изделий.

В [3] приведена технологическая схема разрушения ЖБИ (рис.1). Железобетонная панель 2 загружается в ванну с водой 3. Рабочий электрод 4 с помощью манипулятора постепенно перемещается по ячейкам изделия, при этом система контроля выдает команду для перемещения в новое положение лишь после полного разрушения ячейки. Освободившиеся после разрушения ЖБИ арматура и бетонный шлам по отдельности удаляются из ванны.

В одноэлектродной конструкции в каждой позиции электрода осуществляется 4-5 разрядов в зависимости от толщины изделия и места расположения относительно арматуры, т.е. при частоте следования $f=0,5-2$ Гц каждые 2...10 секунд требуется изменение положения электрода.

Для длинномерных изделий (шпал, столбов) более эффективной представляется использование "гребенки" электродов, длина которой равна длине разрушаемого изделия. "Гребенка" позволяет осуществлять обработку изделия путем поочередного подключения одного из электродов к источнику импульсов при выводе из контакта с высоковольтной шиной других электродов. На основе этого нами разработана конструкция установки для утилизации железобетонных шпал (Рис.2).

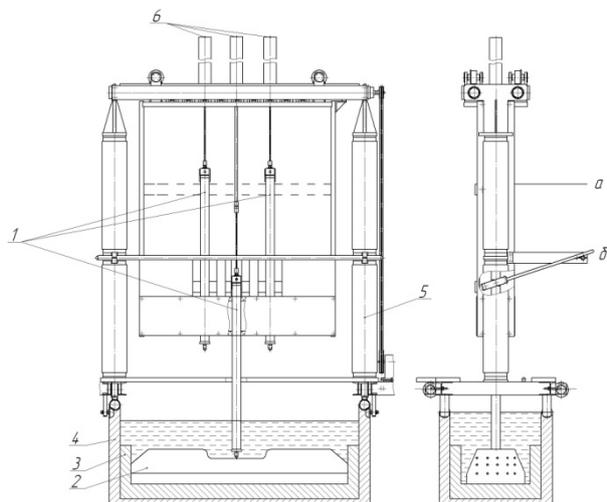


Рис.2 Устройство для утилизации ЖБИ

Она включает в себя технологическую ванну 4, электродную систему 5 генератор импульсов (на рис. 2 не показан). Электродная система 5 может перемещаться по направляющим вдоль технологической ванны 4. Она снабжена тремя высоковольтными электродами 1, расположенными в ряд. Каждый электрод снабжен индивидуальным пневмоприводом 6 для вертикального перемещения и имеет два фиксированных положения: верхнее (а) - исходное и нижнее (б)- рабочее. В нижнем положении электрод опускается на разрушаемое изделие, при этом он автоматически подключается к высоковольтной шине, на которую поступают импульсы от генератора. Технологическая ванна представляет бак сварной конструкции, заполненный водой. Внутри ванны располагается контейнер 3, служащий для накопления разрушаемого бетона. По мере заполнения контейнера его вынимают из ванны и разгружают с помощью грузоподъемного механизма. Разрушение железобетона осуществляется под слоем воды на решетке контейнера.

Работа установки осуществляется следующим образом. Изделие 2 грузоподъемным механизмом устанавливают на решетку контейнера, который вместе с изделием с помощью гидравлической системы погружают в воду. Над изделием устанавливают электродную систему. Один из электродов опускается на изделие. При опускании электрод подключается к высоковольтной шине, включается генератор импульсов. Импульсы от генератора через высоковольтную шину и электрод

поступают в рабочую зону и разрушают бетон. После подачи серии импульсов бетон под рабочим электродом разрушается, электрод подни



Рис.3 Процесс утилизации ЖБИ

мается вверх, а другой опускается на неразрушенную часть изделия. Циклы повторяются до полного освобождения арматуры от бетона.

Предложенная нами технология и конструкция устройства по разрушения железобетонных шпал позволит отделить арматуру от бетона. Для доработки получившихся отходов в циклах утилизации использовать серийно изготавливаемые щековые дробилки. Разработанная конструкция устройства может стать прототипом серийной установки для утилизации ЖБИ.

Список литературы:

1. Оборудование и технология для разрушения железобетонных изделий // Сайт научно-технического центра ВЕГА [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.stc-vega.com/index.php/en/oborudovanie/razrushenie-zhelezobetona.html>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Зиновьев Н.Т., Левченко Б.С., Семкин Б.В., Танбаев Ж.Г. Утилизация некондиционных железобетонных изделий электроимпульсным способом// Электронная обработка материалов. 1990. №4. С. 81-83.
3. Семкин Б.В. Электрический взрыв в конденсированных средах: Учебное пособие ТПУ Томск – 1979, с.89

КОРРЕКТИРОВКА УГЛА СКАНИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Пушкарев М.С., Стреминский А.С., Глиненко Е.В.

Научный руководитель: Сикора Е.А., к.т.н., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30

E-mail: o-sea@tpu.ru

Специализированные робототехнические системы широко применяются в самых разных отраслях жизнедеятельности. Особый интерес представляют, получившие распространение в автомобильной промышленности, роботы с сонарами, к которым предъявляются высокие требования к точности позиционирования.

Для решения задач навигации используются специализированные системы ориентации. К таким системам относятся системы навигации, а также системы измерения расстояния до препятствия. Лучше всего для решения малобюджетных задач подходят системы, измеряющие расстояние до окружающих объектов, использующие ультразвуковые датчики – сонары. Принцип действия сонаров основан на измерении временного отрезка между испускаемой звуковой волной и отраженной от препятствия. С помощью полученного времени можно легко определить расстояние до препятствия, зная скорость распространения звуковых колебаний в среде. Для получения испускаемой звуковой волны используются ультразвуковые излучатели.

Несмотря на свою простоту системы с сонарами требуют тщательной настройки, особенно это касается определения оптимального угла сканирования. Для эксперимента использовался учебный робот с ультразвуковым измерителем NI sbRIO-9631, способный ориентироваться в пространстве и выявлять наличие препятствий с помощью сонара.

Рассматриваемая система управления (рис. 1) включает в себя плату управления 1, которая однонаправленно интегрирована с приводами устройства: двигатель 3, привод сонара 5. Также к ней подключен ультразвуковой датчик (сонар) 4, расположенный сверху на раме робота, что позволяет ему беспрепятственно сканировать пространство. Робот приводится в движение приводами 3, управляемые платой управления. Движение колес контролируется платой управления с помощью датчиков 2.

Принцип работы следующий: Переключателем запускается плата управления (ПУ) 1 и двигатель 3. ПУ интегрируется однонаправленно с устройствами 2, 3, 4, 5. Сразу после включения ПУ передает приводу сонара 5 значения угла сканирования и шага поворота привода сонара. Это необходимо для сканирования пространства на наличие препятствий прикрепленным к роботу сонарным датчиком 4. Данный датчик передает плате управления результаты сканирования. После обработки данных ПУ устанавливает скорость и

направление движения робота и отправляет соответствующие команды приводу колес. Во время движения датчиками вращения колес подается сигнал плате управления, с учетом которого в случае затруднения передвижения ПУ устанавливает в совокупности с данными сонара дальнейшее направление и скорость движения робота. Робот также имеет возможность расширения и интеграции с различными датчиками.

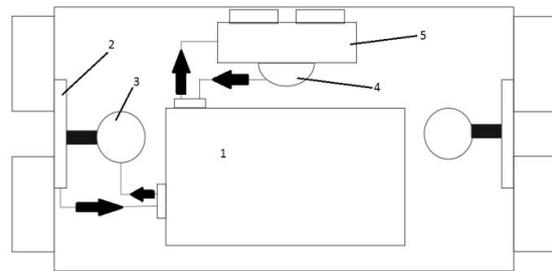


Рис. 1. Принципиальная схема взаимодействия элементов навигационной системы робота NI sbRIO-9631

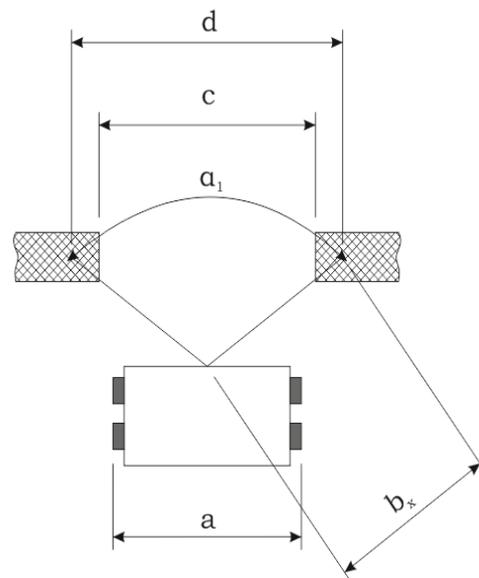


Рис. 2. Расчетная схема определения угла сканирования: a – ширина робота; b_x – дальность сканирования; α_1 – угол сканирования сонара; c – ширина прохода; d – ширина сканирования

В ситуации, когда ширина зоны сканирования значительно превышает габариты робота, сонар

реагирует на объекты, не препятствующие движению (рис. 2), вследствие чего не проезжает в «узкие» проходы.

Данную проблему можно решить путем изменения значения угла α_1 , при этом должны соблюдаться следующие условия:

а) $c = d + \Delta$, где $\Delta \rightarrow 0$; (1)

б) $d = a + \Delta$, где $\Delta \rightarrow 0$.

Расчет угла производится по формуле:

$$\alpha_1 = 2 \arcsin \frac{d}{2b_x}. \quad (2)$$

Данные для подсчета берутся с сайта производителя робота, либо в программном коде ПУ, либо определяются опытным путем (габариты корпуса, скорость движения и т.п.). Округление значения угла производится в большую сторону, т. к. должно соблюдаться условие (1) $c = d + \Delta$, где $\Delta \rightarrow 0$. В итоге значение угла сканирования для робота шириной около 39 см и дальностью сканирования пространства датчиком не менее 1 м составляет 0,4 рад или 23°. Во всех случаях производилось округление безопасное для соблюдения вышеуказанного условия (1).

Также теоретически предполагалось, что при движении робота вперед и сканировании пространства на предмет препятствий появляется не сканируемая «слепая» зона А (рис. 3.), находящаяся на пути движения робота. Если в этой зоне будет точечное препятствие (рис. 3.), то робот не выявит его наличие. 1-1, 2-2 и 3-3 – последовательные векторы, указывающие направления и дальности сканирования в крайних положениях диапазона сканирования. Проблема зависит от скорости движения робота и от периода вращения сонара.

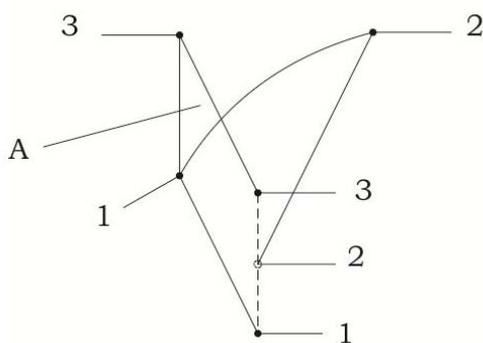


Рис. 3. «Слепая» зона

Но результаты расчетов показали, что проблема столкновения не актуальна, т. к. размеры «сле-

пой» зоны компенсируются округлением значения вычисленного угла α_1 в большую сторону при его расчете.

С использованием программного обеспечения LabView Robotics 2009 был изменен программный код платы управления с учетом рассчитанных данных. Затем многократно экспериментально проверили реакцию на имитированные препятствия. В случае, когда ширина прохода была на 10 см больше, чем ширина робота въезд в створ всегда был корректен. Напомним, что при первоначальном угле сканирования робот определял створ прохода как препятствие перед собой. В случае, когда ширина прохода была на 1 см больше, чем ширина робота въезд в проход проходит корректно, но иногда происходит столкновение колес с препятствием. Это связано с тем, что иногда из-за неточности установки робота в стартовое положение сонар выявляет наличие препятствия (причем препятствие действительно находится на пути движения) и робот пытается его объехать (что верно). Во время его поворота образуется «слепая» зона, находящаяся на пути и не выявляемая в дальнейшем сонаром. Тем не менее, встроенные датчики движения колес корректируют его въезд в проход и ликвидируют возможность блокировки робота в проходе.

Выводы

В ходе выполнения работы теоретически определен и практически проверен оптимальный угол сканирования пространства на наличие препятствий.

Использование формулы (2) подходит для роботов, подобных рассматриваемому в данной статье с учетом слепой зоны А (рис. 3), которая зависит от скорости движения робота и периода вращения сонара. Показано, что тщательная настройка только сонара робота может значительно расширить его возможности передвигений.

На примере этого исследования можно пронаблюдать актуальность проблемы оптимизации робототехнических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лысенко О.Н. Использование лазерных сканеров SICK AG для навигации мобильных роботов // Компоненты и технологии. – 2008. - № 1. – С. 56.
2. Getting Started Guide for the Robotics Prototyping Kit // National Instruments. URL: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10568> (дата обращения: 29.10.2011)

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТА С ПОВЫШЕННОЙ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Рожков П.С.^{1,2}, Коровин Г.И.², Сикора Е.А.¹

Научный руководитель: Гаврилин А.Н.¹, к.т.н., доцент

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр т Ленина, 30

²ООО «ПК МИОН», 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 46/5, а/я 427

E-mail: tom-gawral@list.ru

Повышение виброустойчивости технологических систем имеет важное значение особенно при работе с труднообрабатываемыми материалами (титановые сплавы, высоколегированные стали различного назначения). Особенно актуальным является вопрос повышения виброустойчивости размерного инструмента: сверл, фрез, метчиков и т.д.

Существующие способы повышения виброустойчивости технологической системы [1, 3, 4, 5, 7], в особенности инструмента, должны рассматриваться с точки зрения возможности их применения к конкретным технологическим ситуациям. Для расширения диапазона режимов резания при фрезерной обработке осуществлена попытка повысить виброустойчивость процесса путем изменения геометрии инструмента, при этом необходимо снизить вибрацию до приемлемого уровня. Следует отметить, что такой способ используется в ряде конструкций фрез [3, 4, 7, 9, 10], однако как показывает практика не всегда приводит к желаемому результату.

Рассмотрим упрощенную физическую модель технологической системы (рис. 1), в которой можно выделить следующие компоненты, представляющие собой колебательные звенья: 1 – звено инструмент-оправка с приведенной жесткостью $c_{ин}$, приведенной массой $m_{ин}$ и коэффициентом демпфирования $b_{ин}$; 2 – звено шпиндель с приведенной жесткостью $c_{шп}$, массой $m_{шп}$ и коэффициентом демпфирования $b_{шп}$; 3 – звено приспособление-деталь с приведенной жесткостью $c_{п.д.}$, массой $m_{п.д.}$ и коэффициентом демпфирования $b_{п.д.}$; 4 – звено стол станка-станина с приведенной жесткостью $c_{ст}$, связывающую массы: $m_{ст1}$ – (шпиндельной) верхней части станины, $m_{ст2}$ – нижней части станины и коэффициентом демпфирования $b_{ст}$. Технологическая сила $F(t) = Fa \times \sum \sin(\omega_1(t))$ в данном случае воздействует на все несущие элементы технологической системы через инструмент-деталь-приспособление, и в первом приближении может быть представлена как некоторая периодическая сила амплитудой Fa и частотой возбуждения $\omega_1(t) = n \times z/60$, основная гармоника которой $\omega_0(t) = n \times z/60$, где n – число оборотов шпинделя (Гц); z – число зубьев фрезы.

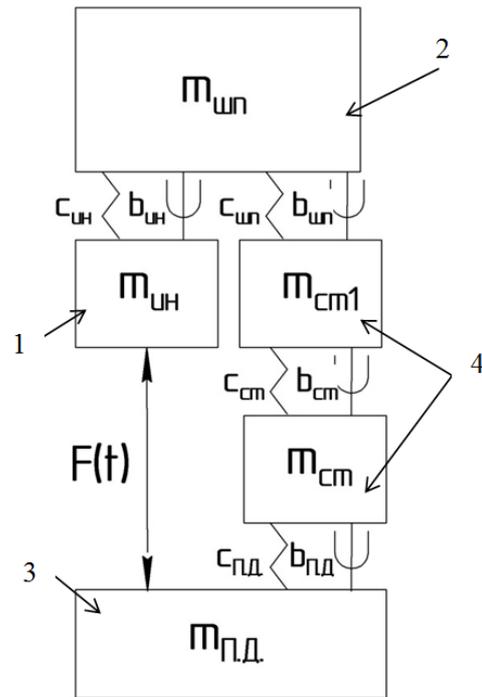


Рис. 1. Физическая модель технологической системы

Таким образом технологическая система представляет собой ряд взаимосвязанных колебательных звеньев, описываемых как минимум системой диффуравнений 2-го порядка. При совпадении или кратности основной гармоники $\omega_0(t) = n \times z/60$, с собственной частотой колебаний одного из звеньев, определяемых по зависимости, возникает резонанс, что нередко приводит к разрушению несущих элементов технологической системы, как правило инструмента. Технологическая система в этом случае характеризуется сложными «кольцевыми» взаимосвязями между ее инерционно-упруго-диссипативными элементами. Следует отметить, что возможным способом снижения виброактивности элементов технологической системы (рис. 2) при фрезеровании, применение неравномерного окружного шага зубьев фрезы [3,4,7,9,10], при котором основная гармоника $\omega_0(t) \neq const$, не будет оставаться постоянной, а будет иметь место частотно-фазовая модуляция см.рис 4. При этом даже при малых коэффициентах демпфирования b_i амплитуда колебаний будет существенно меньше, чем при установившемся процессе $\omega_0(t) = const$, что неоднократно отме-

чалось в работах, посвященных динамике механизмов при переходных процессах [2].

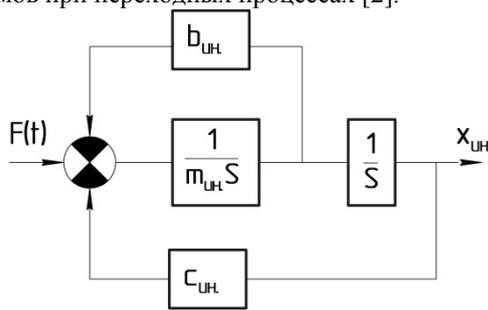


Рис. 2. Структурная блок-схема технологической системы – инструмент

Сложность чисто теоретического обоснования требуемой расчетной геометрии фрезы заключается в том, что многие из указанных параметров

m_f, c_f, b_f – являются существенно нелинейными функциями а также переменными по величине в зависимости от взаиморасположения элементов, геометрии детали и т.д., что еще значительно усложняет структуру упрощенной физической модели технологической системы. Однако как ранее было отмечено, что наиболее «слабым» звеном является как правило фреза, т.к. ее жесткость значительно меньше по сравнению с остальными элементами технологической системы.

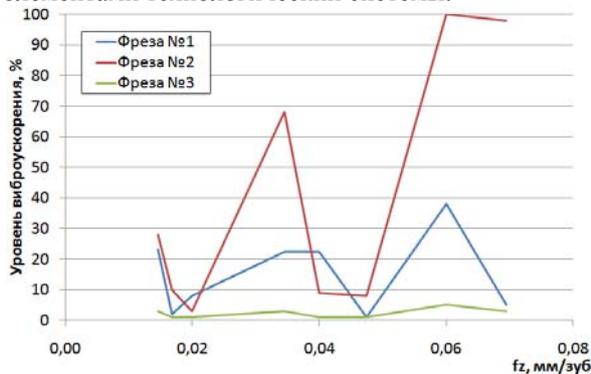


Рис. 3. Уровень виброускорения при определенном сочетании режимов резания для фрез с разным окружным шагом зубьев

Эксперимент осуществлялся на станке типа MCV-400. фрезерованием заготовки $\phi = 250$ мм высотой 200 мм, из стали 40X, HB 200; 3-мя фрезами $\phi = 10$ мм, материал H10F, $z = 4$ с неравномерным окружным шагом зубьев фрезы, оригинальной конструкции ООО «ПК МИОН». Варьирование осуществлялось по следующим параметрам режимов резания $s_{-1} = 256$ мм/мин; $s_0 = 608$ мм/мин; $s_{+1} = 1056$ мм/мин и частотой вращения шпинделя $n_{-1} = 3200$ об/мин; $n_0 = 3800$ об/мин; $n_{+1} = 4400$ об/мин; Ширина резания $a_e = 3$ мм, и глубина резания $a_p = 5$ мм, оставались в процессе эксперимента неизменными. Акселерометры для снятия параметров виброускорения конкретных узлов технологической системы, были установлены на заготовке и

шпинделе обработка и получение характеристик проводилась при помощи прибора K-5101 фирмы ВИТЭК и ПМО LabView 2011 фирмы National Instruments. Полученные спектрограммы мощности виброакустических сигналов (рис. 3) виброускорений обработанные в соответствии с план – матрицей эксперимента. За 100% принят максимально достигнутый уровень вибрации на режимах обработки $n = 4400$ об/мин, $S = 1056$ мм/мин, для фрезы №1.

Приведенные экспериментальные зависимости видно, что применение фрез с неравномерным окружным шагом зубьев и специально подобранной геометрии режущей кромки уровень вибрации снижается примерно в 100 раз (40 ДБ). При этом максимальный эффект повышения виброустойчивости, соответственно гашения колебаний, достигается при максимальной неравномерности окружного шага зубьев фрезы. Выявленная закономерность хорошо согласуется с данными [2].

Проведенные эксперименты показали, адекватность модели и работоспособность конструкции фрез с повышенной виброустойчивостью, а также перспективность дальнейших исследований в данном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибраций в машиностроении. – М: Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Вибрация в технике: справочник в 6 т. / Под ред. В.Н. Челомея. – М: Машиностроение, 1978. Т.6. – 456 с.
3. Андреев В.Н., Гадукия А.Г. Влияние колебаний концевых фрез из быстрорежущей стали на стойкость. "Станки и инструмент", 1974.
4. Андреев В.Н. Совершенствование режущего инструмента. – М: Машиностроение, 1993. – 238 с.
5. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Роль виброакустической диагностики в исследовании и отладке шпиндельных узлов // ИТО, №1, 2009. – С. 21-23.
6. Завгородский В.И., Маслов А.Р. Управление виброустойчивостью технологической системы // ИТО, №10, 2009. – С. 22-25
7. Болдин Л.А. Металлорежущие станки (вопросы эксплуатации). – М: Машгиз, 1957. – 260 с.
8. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.
9. ГОСТ 17025-71 «Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком»
10. ГОСТ 17026-71 «Фрезы концевые с коническим хвостовиком».

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ДИСКА КУЛЬТИВАТОРА В НЕОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ

Романишина С.А., Стецюк В.И., Романишин О.Ю.

Научный руководитель: Слободян С.М., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: tatjana.romanishina@yandex.ua; post@svarog-agro.com

Создание элементов и узлов агротехники с высокой долговечностью рабочих органов в настоящее время, как правило, включает этап исследования и анализа влияния особенностей вида нагрузки на долговечность работы основных элементов непосредственного механического воздействия на структуру и изменения состояния почвы, как сплошной среды, с учетом особенностей взаимодействия рабочего элемента со средой. Для оценки эффективности разных форм и топологической структуры элементов и узлов агросистем в условиях изменяющихся воздействий и нагрузок могут быть использованы различные методы структурной и геометрической оптимизации [1–2], которые успешно применяют для улучшения эксплуатационных свойств разных типов конструкций. Оценка эффективности применения оптимизации форм и свойств элементов может быть затруднена большим числом параметров оптимизации форм, поскольку для такой задачи требуется мощное обеспечение и значительные вычислительные ресурсы.

Особенно затруднена оценка эффективности применения тех или иных форм элементов в условиях влияния ползучести материала элементов, а также при обработке грунта с дискретными включениями фракций более высокой упругости, чем основная среда, например, каменистого типа включений. Присутствие таких включений в однородно распределённой сплошной среде в сильной степени снижают долговечность работы диска, обусловленного возникновением существенного влияния импульсного и ударно-кинетического характера контактного силового взаимодействия на уровне предельных или близких к пределу разрушения элемента силовых нагрузок.

Перечисленные факторы определяют важность анализа поведения дисковых элементов агротехники при нагрузках, приводящих к условиям проявления влияния фактора усталости и ползучести материала элемента. Кроме того, в случае оптимизации формы достаточно жёстких (с высоким модулем упругости) материала тел элементов агротехники теоретически получаемые формы элементов могут быть трудно реализуемы или технологически нереализуемы.

Исследование влияния фактора ползучести на долговечность элемента можно рассматривать в качестве одного из альтернативных подходов оценки эксплуатационной живучести элементов и конструкций агротехники.

Качество прогноза состояния элементов средств агротехники, для целей контроля и диагностики состояния и живучести этих элементов, зависит от точности аналитической оценки параметров и уче-

те факторов наиболее влияющих на живучесть взаимодействующих контактно элементов со средой и определяющих качество математической модели. Сложность оценки времени жизни диска (например, в грунте с дискретными фракциями) определена случайным характером процесса кинетического механизма контактного взаимодействия режущего элемента и фракций включений в среде, а значит и к случайному характеру температурного поля рабочей грани диска. Следует учитывать, что ввиду широкого спектра факторов взаимодействия, приводящих часто к взаимно противоположному направлению влияния на контактно взаимодействующие тела с разной зависимостью модуля упругости от температуры среды, живучесть дискового элемента может быть резко снижена.

Трудности решения задачи прогноза состояния элементов агротехники состоят: во-первых, в метрологической недоступности; во-вторых, в отсутствии аналитического описания ряда процессов, протекающих в контактном пространстве диска; в-третьих, в недостатке априорной информации для оценки экстремума функции поведения материала диска при его диагностике; в-четвертых, в случайности структуры среды обрабатываемого грунта, а значит и его влияния на живучесть диска. Многие известные методики прогноза живучести элементов агротехники не учитывают физику и особенности явлений случайного взаимодействия материала элементов в пространстве тонкого контактного слоя «элемент–среда» [1–2].

Исследование вариаций температурного поля и его влияния на усталость материала режущего элемента средств агротехники является одной из важных проблем теории прочности материалов и долговечности их эксплуатации. Многие ученые мира посвятили данной проблеме свои работы. Их результаты – большой вклад в развитие теории теплофизики. Однако, учитывая обширность этой области и вероятностные особенности применения режущих грунт элементов, остался целый ряд нерешённых проблем.

Литературные источники показывают, что основной недостаток известных математических моделей заключается в том, что мало уделено внимания анализу физико-механических условий в контактных задачах и особенностям формирования контактного пространства силового взаимодействия режущего элемента с объектом воздействия – грунтом как сплошной однородно распределённой средой с дискретными упругими включениями инородных фракций.

Как правило, в известных математических моделях проводится усреднение дискретного стохастического потока воздействий в контактной области взаимодействия «элемент–среда», приводящих к стохастичности образования локальных энергетических источников (центров последующей локализации деформаций) – центров зарождения областей пространства локального приближения к проявлению и росту влияния фактора усталости (локального источника генерации тепла) в наиболее пластичном сечении элемента – контактной области.

В результате можно говорить об отсутствии учёта импульсной природы воздействий (в контактной области элемента), приводящего к образованию центров пластической деформации из-за действия локальных источников теплового проявления текучести материала элемента, своим зарождением обусловленных кинетическим характером контактного взаимодействия.

С другой стороны, в вероятностных моделях, для расчётов локального проявления тех или иных эффектов, часто принимают допущения, проверка возможности и справедливости которых в том или ином диапазоне эксплуатационных воздействий на практике чаще невозможна.

Вероятностные характеристики и закон распределения процесса воздействия на те или иные элементы можно установить только на основе обширного натурного эксперимента в процессе длительных экспериментальных исследований на долговечность при разных видах непрерывного и импульсного характера нагрузок.

Априори часто о переменных процесса, приводящих к катастрофе – с последующим разрушением элемента, практически мало что известно. Поэтому в результате исследований или численного эксперимента получают результаты (данные выборок) лишь частично отражающих реальный процесс развития фактора, ведущего к катастрофическим последствиям – разрушению.

Обзор проведённых исследований показал, что недостаточно внимания в существующих работах по изучению ползучести уделяется начальному этапу развития влияния этого фактора. Экспериментальные данные, полученные нами в процессе реальной эксплуатации режущих элементов агротехники, а также анализ опубликованных работ других исследователей, показывает на существование импульсного характера значительных силовых воздействий сравнимых с предельными уровнями прочности режущего элемента. Наличие этого фактора обусловлено весьма высокой статистической неоднородностью грунта как распределённой сплошной среды с дискретными, с весьма высоким модулем упругости, включениями. Именно

эти фракции включений, часто ограничивают быстрое действие режимов обработки почвы. Под таким воздействием и возникают структурные и катастрофические изменения в поверхностных слоях и передней грани режущего элемента агротехники.

Неравновесная динамика теплового поля грани диска и кинетическое воздействие в сильной мере влияет на скорость изнашивания и разрушения слоя кромки, оказывающей силовое воздействие на слой грунта, а значит и на работоспособность, стойкость и живучесть силового элемента.

Колебания температуры в распределении поля режущей кромки элемента силового воздействия на почву как сплошную среду обусловлены кинетическим действием контакта с локальными дискретными фракциями включений в почве как в однородной распределённой сплошной среде, оказывающей силовое воздействие на режущую кромку элемента агротехники.

В настоящем докладе рассмотрено влияние дискретных фракций (песчинки, дискретные включения камней с более высоким модулем упругости, чем основная среда) на колебания температурного поля режущей кромки элемента силового воздействия на грунтовый слой почвы.

В докладе рассмотрено скольжение кромки диска культиватора по плоскому (в микро- и мезомасштабном представлении контактного силового взаимодействия диска) слою сплошной среды (грунта, почвы). Другими словами, в области контактного взаимодействия среды (почвы) с кромкой диска. Контактный слой сплошной среды (почвы) представлен в виде произвольного пласта однородно распределённой сплошной среды с эффективным, с точки зрения влияния на формирование и динамику температурного поля динамического пространства, размерами $x_3 \times y_3$, с пространственно-временным распределением температурного слоя сплошной среды (почвы). Процессу контактного взаимодействия диска со слоем упругой сплошной среды свойственно возникновение достаточно высоких величин кинетической энергии движения с последующей диссипацией части этих энергий (как выполненной работы) в образование вклада в изменение температурного поля контактного взаимодействия.

Литература

1. Радчик, А.С., Радчик, В.С. О деформации поверхностных слоёв при трении скольжения // Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 183. – №5. – С. 77–78.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника, износ и безыносность. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 606 с.

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-2D

Сергеев Ю.А., Колесникова С.Ю.

Научный руководитель: Каргин Б.В., к.т.н., доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: sergeev-yurok@mail.ru

Для анализа напряженно-деформированного состояния и выявления особенностей влияния технических параметров при волочении круглых изделий выполнено моделирование в конечно-элементном комплексе DEFORM-2D.

Рассмотрим процесс волочения круглого сплошного профиля из круглой заготовки. Передний конец заготовки заостряют, вставляют в коническое отверстие волоки меньшего диаметра, чем диаметр заготовки, захватывают клещами и протягивают через волоку с растягивающей силой [1,2]. В волоке возникают силы реакции, направленные по нормали к образующей канала, которые обжимают металл заготовки. При этом площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а длина увеличивается.

Как было сказано ранее, передний конец заготовки перед волочением заостряют. Моделирование заготовки имеющей заострение показало, что геометрия заготовки не оказывает существенного влияния на усилие волочения (изменение усилия не более 5%), однако позволяет сократить длительность процесса, так как на момент запуска деталь уже находится в непосредственном контакте с волокой, рис.1.

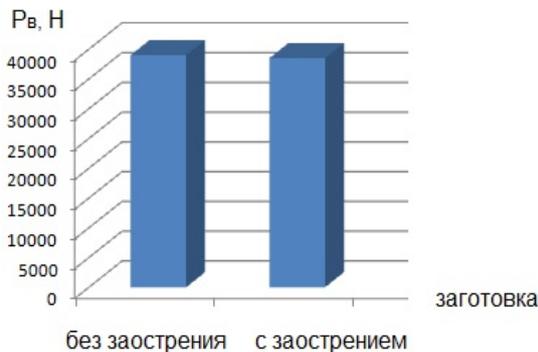


Рис.1. Зависимость усилия волочения от геометрии заготовки

Решение задачи методом конечных элементов на этапе установившегося процесса [5] позволило получить данные о напряженном состоянии металла заготовки, о зависимости усилия волочения P_v от угла рабочей зоны α , коэффициента вытяжки λ , от длины калибрующего пояска l_k и угла заострения заготовки β .

Напряженное состояние характеризуется преобладающей схемой с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями (рис.2), однако, в центральных слоях при входе в рабочую зону волоки наблюдается рост осевых, радиальных и тангенциальных напряжений, что указывает на то, что в этом объеме реализуется схема всесторонне-

го растяжения. На периферийных слоях в зоне контакта металла и волоки наблюдается схема всестороннего сжатия.

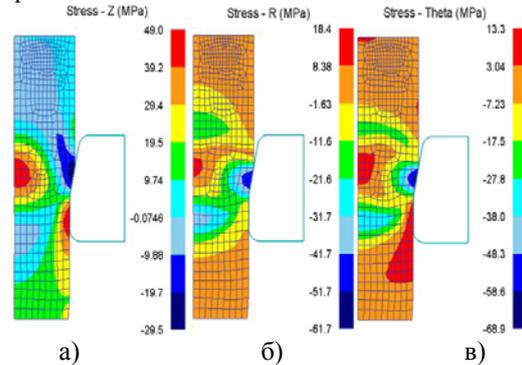


Рис.2. Распределение осевых(а), радиальных(б) и окружных(в) напряжений

Установлена зона оптимальных углов рабочего конуса волоки, которая находится в интервале 9-12°, где усилие волочения минимально, рис.3.

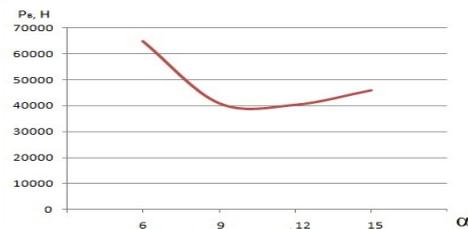


Рис.3. Зависимость усилия волочения P_v от угла рабочей зоны α

При малых углах конуса волоки увеличивается контактная поверхность, что способствует повышению общего давления металла на волоку и силы волочения. При $\alpha=15^\circ$ P_v вновь увеличивается в связи с повышением резкости поворотов линий скольжения, что приводит к росту напряжений на контактной поверхности и увеличению усилия волочения.

Увеличение коэффициента вытяжки приводит к появлению дополнительных сдвигов, дополнительному упрочнению металла, росту напряжений и, как следствие, к росту усилия волочения, рис.4.

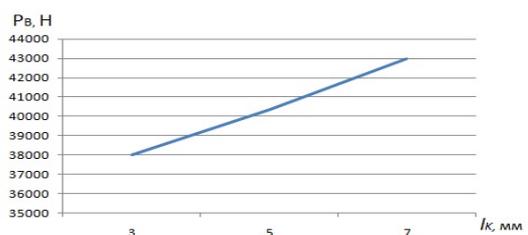


Рис.4. Зависимость усилия волочения P_v от коэффициента вытяжки λ

Калибрующая зона должна быть оптимальной длины и обеспечивать устойчивое волочение при минимальных энергосиловых параметрах процесса. Как видно из графика зависимости увеличение длины калибрующего пояска прямо пропорционально увеличению усилия волочения, так как возрастает поверхность контакта заготовки и инструмента, рис.5.

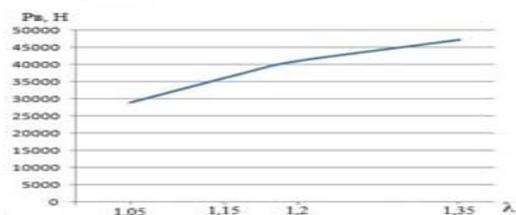


Рис.5. Зависимость усилия волочения P_v от длины калибрующего пояска lk

Для анализа влияния геометрии заострения заготовки проведено моделирование процесса волочения заготовки, имеющей угол заострения равный углу конуса рабочей зоны волоки, больше и меньше него. Уменьшение угла заострения заготовки приводит к уменьшению усилия волочения, рис.6.

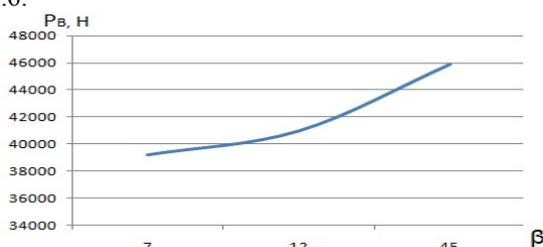


Рис.6. Зависимость усилия волочения P_v от угла заострения заготовки β

О характере течения металла, помимо искажения координатной сетки можно судить построив векторное поле скоростей течения металла, которое в осевом направлении характеризуется максимальными значениями на выходе из волоки с постепенным затуханием ко входу. В радиальном направлении наблюдается уширение металла до входа в канал волоки с последующим сужением.

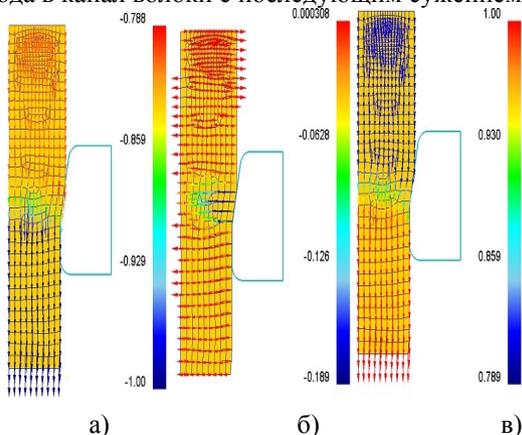


Рис.7. Векторное поле осевых (а), радиальных (б) и полных (в) скоростей течения металла

В зоне деформации наблюдается разница между скоростями течения металла в центральных слоях, где скорость практически падает до 0, и на периферии, где скорость максимальна.

Выявлены места возможного разрушения заготовки. Как видно из рис.8 образование мест разрушения наиболее вероятно в центральных слоях изделия, как наиболее нагруженных растяжением. По мере движения металла в канале и увеличения растягивающих напряжений это напряжение передается близлежащим к центру слоям металла. Эти слои во время движения по каналу, как было показано ранее, несколько отстают от центральных. В результате чего поверхность разрыва примет форму конуса с углом при вершине, направленном в сторону волочения.

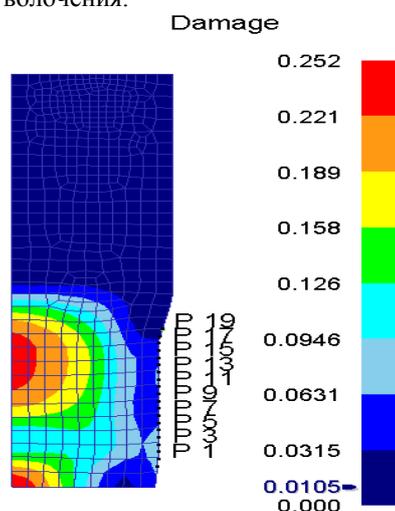


Рис.8. Определение мест возможного разрушения заготовки

Разрывы на поверхности детали возможны при выходе металла из канала волоки, так как наиболее деформированные и, следовательно, упрочненные поверхностные слои более чувствительны к продольным растягивающим напряжениям.

Список литературы

1. Перлин И.Л. Теория Волочения//М.З. Ерманок. – М.,Металлургия, 1971. – 448 с.
2. Ерманок, М.З. Развитие теории волочения//Цвет. металлургия, 1986. - № 9. - С. 81-83.
3. Каргин В.Р. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM – 2D // А.П. Быков, Б.В. Каргин, Я.А. Ерисов. – Самара: Изд-во МИР, 2011. – 170 с.
4. Щукин С.В. Исследование на базе конечных элементов напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении // Известия вузов/Ю.И. Рыбин Черная металлургия. -1993. - №6.- С. 31-34.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С ТОРЦЕВЫМИ ШАРОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

А. В. Симачева,

Научный руководитель: П. Я. Крауиньш, д.т.н., проф.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

E-mail: aleksandra_simac@mail.ru

Актуальность проблемы

Важнейшими задачами для развития машиностроения являются - создание новых образцов высокопроизводительного оборудования, совершенствование технического уровня выпускаемых машин. Их решение зависит от качества проектирования наиболее нагруженных элементов трансмиссий машин - зубчатых передач.

Проведенный анализ научно - технической литературы и патентный поиск свидетельствуют о том, что в области проектирования высоконагруженных зубчатых передач, предназначенных для работы в условиях нежестких корпусов и случайного спектра нагрузок, требуется создания новой геометрии зубчатого зацепления.

Волновые передачи позволяют осуществлять большие передаточные отношения в одной ступени; при зубчатых колесах из стали $U_{\min} = 60$ (ограничивается прочностью при изгибе гибкого колеса) и $U_{\max} = 300$ (ограничивается минимально допустимой величиной модуля, равной 0,2...0,15 мм). При этом КПД равен 80...90 %, как и в планетарных передачах с тем же передаточным отношением. [2]. Недостатки волновых передач: ограниченные частоты вращения ведущего вала генератора волн при больших диаметрах колес, мелкие модули зубчатых колес (0,15...2 мм) [4].

В последнее время развивается принципиально новый тип передач, в которых момент передается посредством промежуточных тел качения (шаров, роликов), взаимодействующих с периодическими дорожками качения сопрягаемых деталей – волновые передачи с промежуточными телами качения. Все звенья передачи представляют собой жесткие тела, выполненные с высокой точностью. При работе передачи между звеньями присутствует трение качения.

В связи с этим, разработка и исследование геометро – кинематических и нагрузочных возможностей новой геометрии зубчатого колеса являются актуальными задачами, решение которых способствует значительному расширению области применения.

Синтез нового профиля зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора

Синтез нового типа геометрии зубчатого зацепления заключается в стремлении повысить кинематическую точность передачи движения при большом передаточном отношении ($i \rightarrow \max$). Для выполнения этих условий необходимо спроектировать и рассчитать формообразование нового профиля зубчатого зацепления. При классическом конструировании зубчатых передач допускается соосное и несоосное расположение оси зубчатых

колес; в зацеплении колесо является внутренним, а шестерня – внешней [3]. Еще одним допущением, опираясь на схему классического волнового механизма, в котором присутствует колесо, шестерня и водило (либо генератор волны), будет являться отсутствие гибкой шестерни, таким образом, механизм становится кинематическим.

В данной работе рассматривается принципиально новая схема кинематического редуктора с зубьями (рис. 1), выполненными с неподвижными, по отношению к колесу сферическими зубьями (шары).

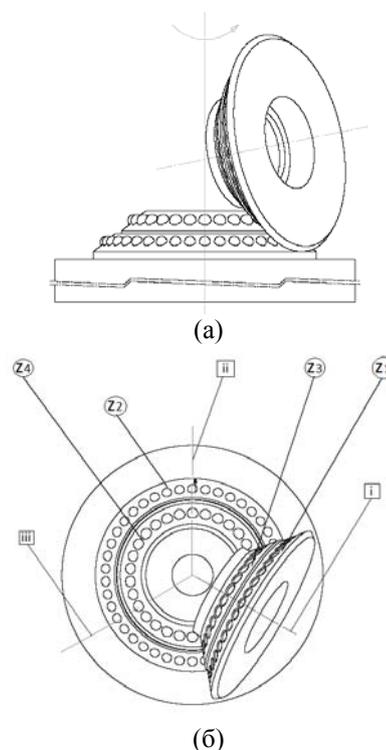


Рис. 1 Зацепление колеса и шестерни: а – вид спереди; б – вид сверху (колеса ii и iii показаны условно)

Обычно, в волновой передачи с гибкой шестерней передаточное отношение определяется:

$$i = \frac{z_2}{z_2 - z_1},$$

где i - передаточное отношение колес;
 z_1 - количество зубьев шестерни;
 z_2 - количество зубьев колеса.

Однако, из-за интерференции, не смотря на коррекцию, передаточное отношение волновых передач рассчитывается:

$$z_1 = z_2 \cdot 1.$$

На рис. 2 показано движение зубьев во время движения шестерни. Такое положение, как сред-

ний зуб, зубья шестерни занимают поочередно, так как одновременно два зуба такое положение занять не могут (только если один на одной стороне шестерни, а второй – на другой). Только в этом положении зуб выходит из впадины в строго противоположном направлении (под углом 180°). Остальные зубья под разными углами ориентированные в пространстве. Зубья, отдаляясь от среднего положения, контактируют в каждой соседней точке, двигаясь по спирали. Такое движение приводит к тому, что на износ работает вся поверхность зуба и впадины.

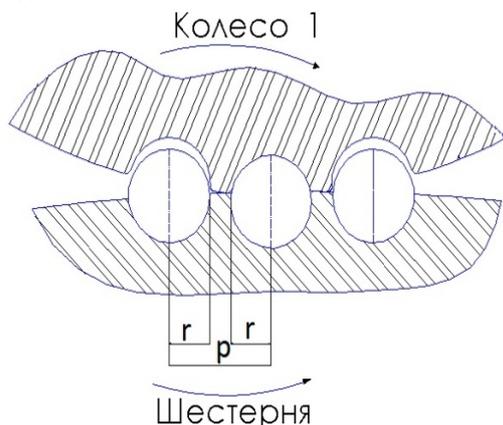


Рис. 2 Зацепление колеса и шестерни вид спереди (разрез)

В колесах с эвольвентным зацеплением используется модуль m . В случае рассмотрения редуктора с торцевыми шаровыми зубьями:

$$m = r,$$

где r - радиус шара.

Тогда шаг зацепления:

$$p = r \cdot \pi,$$

$$p = (\pi - 2) \cdot r,$$

где p - шаг зацепления.

Отсюда,

$$p = 1,14 \cdot r.$$

Согласно работе [1], в которой исследуется профиль зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора с торцевыми зубьями, совершается пространственное колебательное “сканирование - обкатывание” шестерни относительно неподвижного колеса, зубья которого имеют форму усеченных конусов. Сканирующая шестерня, расположенная на эксцентричном ведущем валу, представляет собой эксцентричную, замкнутую, волнообразную дорожку передачи движения. Зубья колеса вдавливаются и проходят впадины сканирующей шестерни, каждый из которых участвует во взаимном перемещении, двигаясь по некоторой спирали в пространстве. Шестерня a одновременно

находится в зацеплении с неподвижным и выходным колесам b . (рис. 3).



Рис. 3 Схема зацепления зубчатой пары:

a - сканирующая шестерня; b - выходное колесо

Заключение

Использование волнового редуктора с торцевыми шаровыми зубьями позволяет решить комплекс задач: повысить кинематическую точность передачи движения при большом передаточном отношении и малом числе деталей, повысить долговечность, надежность зацепления, уменьшить массо-габаритные характеристики, снизить вибрационные, шумовые характеристики путем улучшения геометрии зубчатых колес и кинематической схемы зацепления.

Анализ патентной литературы показал, что предлагаемая схема действия кинематического волнового редуктора с торцевыми шаровыми зубьями обладает патентной частотой и на сегодняшний день аналогов не обнаружено.

Список использованной литературы:

1. Е.А. Вершинина, П.Я. Крауиньш Исследование профиля зубчатого зацепления кинематического волнового редуктора с торцевыми зубьями //Современные проблемы машиностроения: Труды V международной научно-технической конференции - Томск, ТПУ, 23-26 нояб.2010. - Томск: Изд. ТПУ, 2010. - с. 420-424
2. В.А. Гавриленко Зубчатые передачи в машиностроении. Теория эвольвентных зубчатых передач. - М.: Машигиз - 1962. - 530 с., ил.
3. Ф.Л. Литвин Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука - 1968. - 584 с., ил.
4. П.И. Орлов Основы конструирования: справочно-методическое пособие. -М.: Машиностроение - 1988. - 560 с.

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ВИП

Тыртышный Д.П.

Научный руководитель: Токарев В.В. к.т.н., профессор

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

E-mail: dyrtysnyy@mail.ru

С созданием и развитием топливно-энергетического комплекса в России нефтепроводный транспорт является его основой и связующим звеном. С самого начала эксплуатации нефтепроводов обеспечение их надежности являлось важной задачей.

В системе крупнейшей в мире компании по транспортировке углеводородного сырья АК «Транснефть» свыше 18 лет применяется четырехуровневая методика диагностирования линейной части магистральных трубопроводов с использованием внутритрубных инспекционных приборов (ВИП). Использование ВИП высокого разрешения позволяет обнаруживать дефект, измерить его параметры и классифицировать по типам. Это является необходимым условием для проведения расчетов на прочность и долговечность трубопровода и предельно допустимого давления эксплуатации.

Все работы по внутритрубной диагностике нефтепроводов и нефтепродуктопроводов осуществляет ОАО ЦТД «Диаскан». Применение внутритрубной диагностики на МН и МНПП во многом предопределило снижение аварийности на линейной части.

Разработанное и реализуемое «Диасканом» техническое диагностирование позволяет обеспечить необходимый уровень эксплуатационной надежности МН и МНПП в условиях проектных нагрузок и их значительного возраста [1].

Актуальность применения неразрушающего контроля в целях обеспечения эксплуатационной безопасности оборудования, применяемого на опасных производственных объектах, подтверждается постановлением Правительства Российской Федерации от 28.03.01 № 241 «О мерах по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации» [2].

Однако, наличие многих факторов влияет на точность измерений дефектов ВИПами. Один из них это наличие воды и «газовых шапок» в МН.

Учитывая рельеф местности, можно предположить, что в верхней части трубопровода образуются «газовые шапки», а в нижней скапливаются твердые отложения и вода (при переходе водных преград, в низменных участках и т.д.).

Рассмотрим пример определения дефектов ЛЧ, а именно расслоения стенки трубы, путем сбора информации измерения времени прихода отраженных сигналов ультразвуковых датчиков, при прохождении ВИП типа WM в трех средах: вода, нефть и газ.

Данные для расчета представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Исходные данные

Зазор между датчиком и трубой h	5 мм,
Скорость снаряда $v_{сн}$	2 м/с,
Излучается сигнал ультразвуковой $f_{сигнал}$	$5 \cdot 10^6$ Гц,
Нестабильность сигнала $\Delta f/f_{сигнал}$	10^{-4}
Толщина стенки трубы s	12 мм

Таблица 2. Скорость распространение сигнала

Среда	Скорость распространения сигнала, м/с
Вода	1480
Нефть	1190
Сталь	5850
Воздух	430

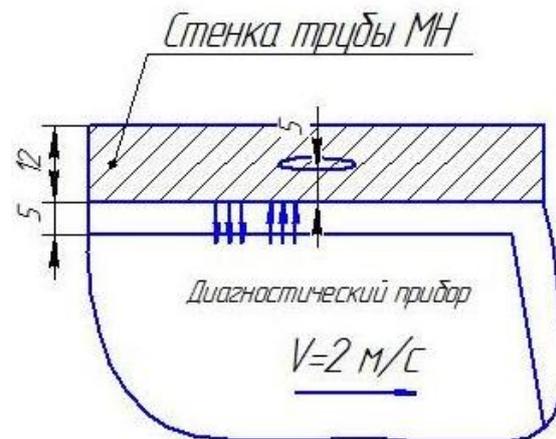


Рис. 1. Схема диагностируемого дефекта
Рассчитаем время отражения сигнала от внутренней стенки трубы:

$$T_1 = \frac{S}{g_p} \quad (1)$$

Рассчитаем время отражения сигнала от расслоения:

$$T_2 = T_1 + \frac{S}{g_p} \quad (2)$$

По формулам 1 и 2 определим время отражения сигнала от расслоения внутри МН в воде, нефти и газе. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчета

Наименование среды	Время задержки
--------------------	----------------

	сигнала, мкс
Вода	10,11
Нефть	8,47
Газ	25,01

Различные временные интервалы между зондирующим импульсом и отраженными импульсами обусловлено прохождением сигнала в различных средах.

В процессе эксплуатации нефтепроводов приходится решать проблемы выпадения воды в пониженных и скопления «газовых шапок» в повышенных участках трассы МН. Проблема их стравливания через дренажные вентили, вантузы и определение мест расположения на трассе МН связана с определенными технологическими трудностями. Для предотвращения выделения воды в свободном виде или газа технологией перекачки предусмотрено поддержание определенного режима по минимально допустимому давлению, также подготовка нефти к транспорту (обезвоживание, дегазация, стабилизация). Однако, эти меры не предотвращают попадание воды в МН, которая затем расслаивается в силу разности плотностей и скапливается в пониженных по рельефу участках. А в повышенных участках накапливаются пузырьки воздуха или легких углеводородов, содержащиеся в нефти в растворенном или окклюдированном состоянии и выделяющиеся при повышенных температурах или снижении давления перекачки. Вынос и скопление газа и воды не происходит при фактических скоростях перекачки, превышающих критические значения, соответствующие условиям их выноса [2].

Определение вероятных мест скопления газозоудных или водяных пробок может быть выполнено по расчетных формулам в соответствии со свойствами продукта и рельефом местности, определенному по сжатому профилю трассы через соотношение длин катетов на отдельных участках, соответствующих подъемам или спускам.

Основные расчетные формулы представлены работами И.А. Чарного, А.К. Галлямова и др.

Вынос воды осуществляется при фактической скорости перекачки (V_{ϕ}), превышающей критическую ($V_{кр}$).

$$g = k \cdot \sqrt{\frac{2gD \sin \alpha}{\lambda} \left(\frac{\rho_g}{\rho_n} - 1 \right)}, \quad (3)$$

$$\text{где } k = 0,1(\sin \alpha)^{-0,332} \cdot \left(\frac{V_n}{V_g} \right)^{0,363}; \quad (4)$$

α – угол наклона восходящего участка к горизонту; v_n, v_g – коэффициенты кинематической вязкости, соответственно, нефти и воды; ρ_g, ρ_n – плотности,

соответственно, воды и нефти; D – диаметр трубопровода; λ – коэффициент гидравлического сопротивления при движении жидкости полным сечением

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k_s}{D} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

где k_s – эквивалентная шероховатость труб; Re – число Рейнольдса

$$Re = \frac{4Q}{\pi D v_n}, \quad (6)$$

где Q – объемная секундная производительность нефтепровода.

Критическую скорость выноса газозоудной пробки определяют как:

$$g_{кр} = k \sqrt{\frac{2gD \sin \alpha}{\lambda}}, \quad (7)$$

$$\text{где } k = 0,225(\sin \alpha)^{-0,36} \cdot \left(\frac{V_n}{V_g} \right)^{0,39}; \quad (8)$$

v_n – коэффициент кинематической вязкости для газа; α – угол наклона нисходящего участка к горизонту.

В качестве примера рассмотрим процесс перекачки нефти по МН диаметром $530 \times 7,5$ мм.

Определим условия выноса воды и воздуха из МН на восходящем и нисходящем участках с углом наклона α в 15° . Производительность $Q = 0,2371$ м³/с. По формулам 3, 4, 5, 6, 7 и 8 определяем критическую скорость для выноса воды и газа из МН. Критическая скорость $v_{кр} = 4,4$ м/с, а скорость перекачки продукта по трубопроводу составляет 1 – 2 м/с.

Так как скорости движения транспортируемой жидкости по трубопроводу не достаточно для выноса «газовых шапок» и воды, прохождение ВИПа будет проходить в трех средах, поэтому для минимизация погрешности измерения дефектов линейной части необходимо учитывать неоднородность среды.

Список используемой литературы:

1. «Новые научные и технические достижения во внутритрубной диагностике трубопроводов». Решение Проблемного научно-технического совета Российского союза нефтегазостроителей. г. Москва, 2011 г.
2. «Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов» Инфра – Инженерия, г. Москва, 2006 г.
3. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» 1997 г.

КОМПАКТИРОВАНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НИТРИДА ТИТАНА ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Усиков А.И., Герасимов Д.Ю., Евдокимов А.А.

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kraamis@gmail.com

В настоящей работе показана возможность получения компактных образцов сверхтвердого материала методом искрового плазменного спекания (ИПС) из ультрадисперсного порошка (УДП) нитрида титана плазмодинамического синтеза. ИПС является модифицированным методом горячего прессования. Его отличительной особенностью является то, что импульсный электрический ток протекает непосредственно через графитовую пресс-форму и прессуемую заготовку из порошкового материала, расположенную между пуансонами. К последним прикладывается статическое усилие от гидравлической системы. При совокупном воздействии плазмы искровых микрозарядов, возникающих в зазорах между частицами порошка, быстро и эффективно разогревает поверхность частиц до температуры плавления. Статическое сжатие обеспечивает сближение и консолидацию частиц. Быстрый нагрев и малая продолжительность рабочего цикла позволяют подавить рост зерна и получить равновесную субмикронную и даже наноструктуру материала.

Эта инновационная технология позволяет консолидировать практически любые субмикронные и наноразмерные порошкообразные материалы, обеспечивая плотность, близкую к плотности монокристалла.

В экспериментах использовалась установка искрового плазменного спекания SPS-515S, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

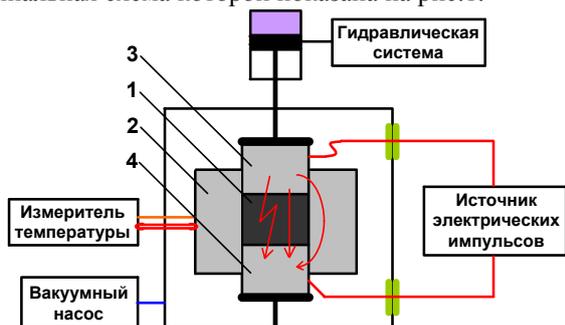


Рис. 1. Принципиальная схема установки ИПС. 1- порошкообразный материал, 2- пресс-форма, 3- подвижный пуансон, 4- неподвижный пуансон.

Процесс происходит следующим образом. Порошкообразный материал 1 (рис. 1) закладывается в графитовую пресс-форму (2) между подвижным (3) и неподвижным (4) графитовыми пуансонами. Рабочая камера герметизируется и задаются необходимые параметры установки: величина усилия сжатия, скорость нагрева, температура и время спекания. После откачки рабочей камеры до да-

вления 6 Па на подвижный пуансон прикладывается усилие от гидравлической системы и включается источник электрических импульсов.

В качестве исходного материала использовался УДП нитрида титана (содержание кристаллического TiN – 92%, TiO₂(r) – 6% и TiO₂(a) – 2%), полученный методом плазмодинамического синтеза, без какой-либо предварительной подготовки с распределением от 20 нм до 200 нм (средний размер порядка 100 нм). Получение компактных материалов производилось при температурах спекания T_{сп} 900 °С, 1100 °С и 1300 °С, при прочих равных условиях: усилие сжатия 5 кН, скорость нагрева 100°С/мин, выдержка при максимальной температуре 5 мин, охлаждение естественное.

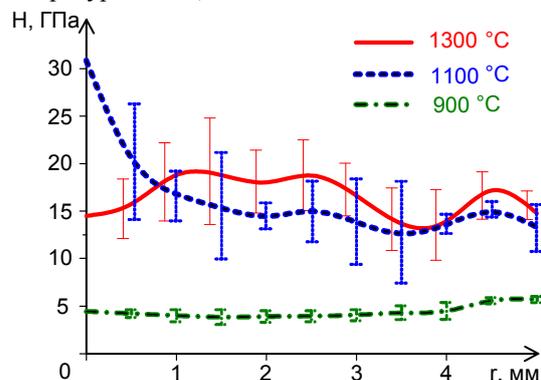


Рис. 2. Зависимость твердости компактных образцов по радиусу на определенных расстояниях от центра.

Исследования физико-механических характеристик полученных объемных образцов проведены с использованием компьютеризированных комплексов Nanohardness tester, Microscratch tester и Micromasure 3D station (CSEM instrument). При исследовании нанотвердости проведено по четыре серии индентирования по разным радиусам отшлифованной поверхности всех образцов. Измерения проведены при максимальной нагрузке на индентор Виккерса 300 мН. Усредненные по радиусу результаты измерений представлены на рис. 2 в виде профилей нанотвердости по радиусу поверхности образца. Видно, что минимальный и практически постоянный уровень нанотвердости с минимальным разбросом имеет материал, полученный при температуре 900 °С. Увеличение температуры спекания приводит к многократному увеличению твердости, но увеличивается разброс значений отдельных индентирований. Относительное постоянство Н(г) имеет место на расстоянии от центра более 1,0 мм, причем среднее значе-

ние нанотвердости, как видно из табл. 1 увеличивается с ростом $T_{сп}$.

Табл. 1. Усредненные результаты индентирования объемных образцов.

$T_{сп}, ^\circ\text{C}$	H, ГПа	E, ГПа
1300	17,3	357
1100	15,5	303
900	4,4	106

Однако при этом возникают аномалии профилей нанотвердости в центральной части дисковых образцов радиусом до 1,0 мм. При $T_{сп}=1100^\circ\text{C}$ твердость незначительно снижается, а при $T_{сп}=1300^\circ\text{C}$ значительно увеличивается. Аналогичный эффект наблюдается при SPS SiC в титановой матрице [1]. Объясняется это тем, что при некоторых условиях проведения процесса компактирования электропроводящих материалов, ток через образец превышает ток, протекающий по пресс-форме. Это вызывает градиент температуры с увеличением к центру образца. Неоднородность нагрева проявляется в виде повышения плотности и твердости. Нельзя исключить и обратное проявление эффекта неоднородности плотности тока и градиента температуры в отличных условиях, например при задании $T_{сп}=1100^\circ\text{C}$.

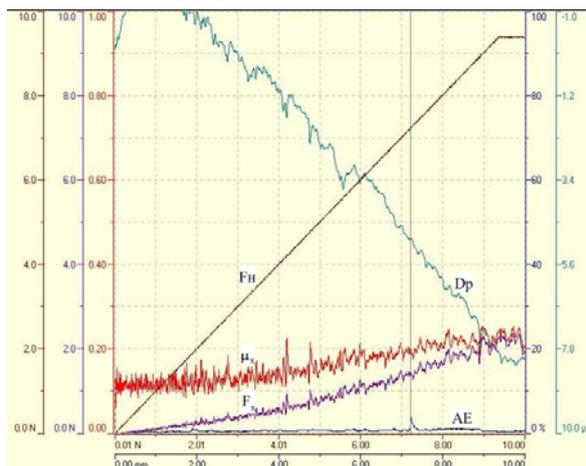


Рис. 3. Зависимости изменения F_n , AE, F_x , μ_x и D_p по длине трека, полученные с интерфейса Microscratch tester.

Приведенные профили $H(r)$ и средние по поверхности образца данные (табл. 1) показывают, что лучший результат по твердости и плотности достигается при $T_{сп}=1300^\circ\text{C}$. Такой же вывод следует из анализа данных скретч-тестирования этих же образцов. Было проведено по два скретч-теста на поверхности каждого образца. При этом скорость движения индентора Роквелла составляла 10 мм/мин, а нагрузка на индентор изменялась в течении минуты со скоростью 10 Н/мин. Контроль параметров осуществлялся в реальном времени, а результат выдавался на интерфейс, в виде кривых

изменения: нормальной силы нагружения (F_n), уровня акустической эмиссии (AE), силы трения (F_x), коэффициента трения (μ_x), глубины вдавливания индентора Роквелла (D_p) по длине трека, как показано на рис. 3 для случая скретч-тестирования образца, полученного при $T_{сп}=1300^\circ\text{C}$.

В табл. 2 приведены средние значения силы трения (F_x) и коэффициента трения (μ_x), полученные при максимальной нагрузке $F_n = 10$ Н. Видно, что с ростом $T_{сп}$ и H, снижаются сила трения и коэффициент трения.

Табл. 2. Физико-механические характеристики компактных образцов.

$T_{сп}, ^\circ\text{C}$	F_x , Н	μ_x	h_{max} , мкм	S, мкм ²
1300	2,3	0,23	1,18	3299
1100	2,8	0,28	1,95	3973
900	5,0	0,50	13,25	22057

Износостойкость материала полученных образцов оценивалась путем анализа трехмерных изображений и профилей царапины, нанесенных при скретч-тестировании, показанных на рис. 4.

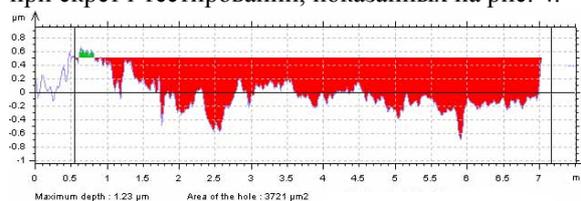


Рис. 4. Профиль продольного сечения трека поверхности образца после скретч-тестирования, полученного при $T_{сп}=1300^\circ\text{C}$.

В табл. 2 приведены средние значения по максимальной глубине трека (h_{max}) и площади продольного сечения трека (S). Очевидна обратная корреляция между $T_{сп}$, H и глубиной h и площади продольного сечения трека S, т.е. износостойкость поверхности образца сильно повышается с ростом физико-механических характеристик материала, обусловленных ростом температуры спекания.

Литература:

1. H.U. Kessel, J. Henicke, R. Kirchner, T. Kessel. Rapid sintering of novel materials by FAST/SPS – further development to the point of an industrial production process with high cost efficiency. FCT Systeme GmbH. www.fct-systeme.de.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер 14.740.11.1237), с использованием оборудования центра ГПУ «Наноматериалы и нанотехнологии».

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Филиппов А.В., Проскоков А.В.

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: Andrey.V.Filippov@yandex.ru

Основным физическим содержанием процесса резания является пластическое деформирование срезаемого слоя металла в стружку. При изучении этого процесса особую важность имеют экспериментальные методы исследования.

С развитием цифровой оптики и лазерной техники благодаря методам голографической интерферометрии и цифровой спекл-интерферометрии уровень экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния деталей и процессов в машиностроении поднялся на новый уровень.

Исследования процесса стружкообразования при резании металлов, с применением метода цифровой спекл-интерферометрии, проводились в институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН г. Томск. О свободное точение дисков из меди М1; сталей 10, 45; сплавов БрАЖ9-4, Д16Т; отрезными резцами – Т5К10 по ГОСТ 18884-73, с передним углом $\gamma=10^\circ$. Регистрирующая аппаратура ИФПМ СО РАН накладывает ограничения на скорость резания, так как каждая перемещающаяся точка деформируемого материала должна оказаться в пределах двух кадров видеозаписи. Поэтому скорость резания при проведении экспериментов составляла 13 мм/мин.

В процессе резания выполнялась видеосъемка, которая фиксировала деформации в зоне стружкообразования (Рис.1). С помощью автоматизированного расчетного комплекса ИФПМ СО РАН в результате получены картины векторных полей

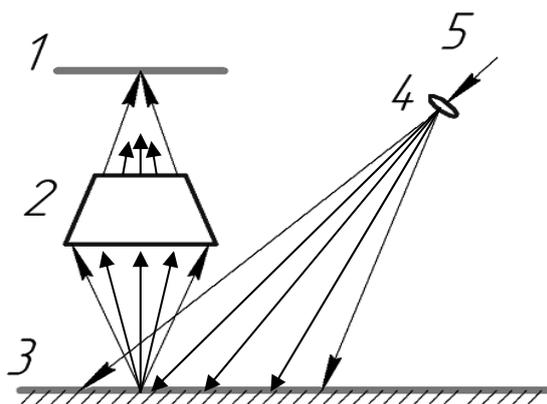


Рис.1. Схема регистрации

спекл-картин: 1 - спекл-картины, 2 - фотообъектив, 3 - объект исследования, 4 - расширитель пучка, 5 - луч лазера.

деформации в зоне резания, показывающие направление и величину вектора перемещения, с выбранным шагом координатной сетки.

Дальнейший анализ позволил получить распределение деформации в зоне стружкообразования при резании меди М1. На Рис. 2 представлены линии равных перемещений, которые позволяют оценить степень деформирования и выделить зону пластического течения материала. Цифрами обозначены величины усредненного значения суммарных перемещений в мкм.

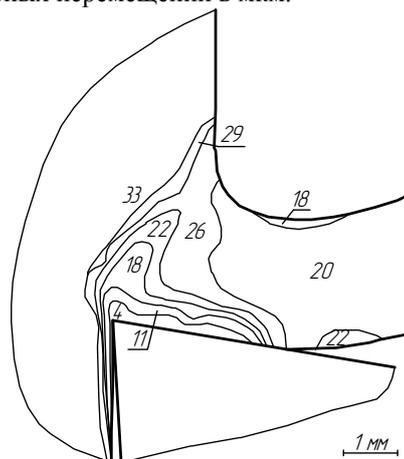


Рис.2. – Распределение зон равных перемещений векторов деформации при резании меди М1 резцом с передним углом $\gamma=10^\circ$.

На Рис.3 показаны линии равных углов вектора деформаций, которые дают представление о напряженном состоянии в исследуемой области.

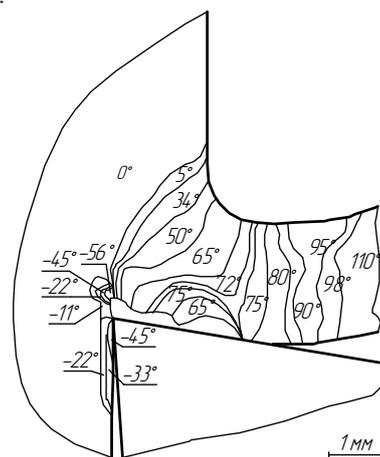


Рис.3. – Распределение зон равного поворота векторов деформации при резании меди М1 резцом с передним углом $\gamma=10^\circ$.

На Рис.4 показаны линии тока, построенные на основе распределения зон равного перемещения и поворота деформируемых точек. Построенные линии показывают направление течения материала и позволяют определить действительную вершину лезвия.

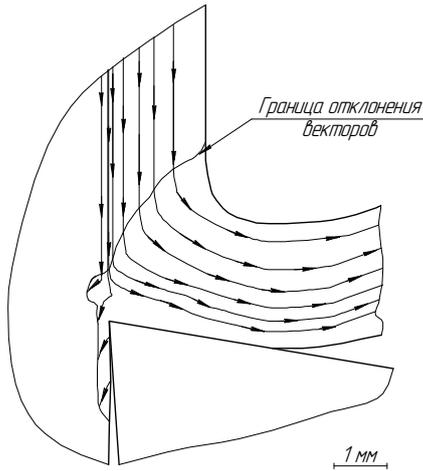


Рис.4. – Линии тока при резании меди М1 резцом с передним углом $\gamma=10^\circ$.

В работе [1] автор для оценки приращения деформаций использует формулы (1-3), которые позволяют привести данные процесса резания к общепринятым параметрам в теории пластичности:

$$\square \epsilon_x = \frac{dh}{dx} \cos \alpha - h \sin \alpha \frac{d\alpha}{dx}; \quad (1)$$

$$\square \epsilon_y = \frac{dh}{dy} \sin \alpha + h \cos \alpha \frac{d\alpha}{dy}; \quad (2)$$

$$\square \epsilon_y = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dh}{dx} - h \frac{d\alpha}{dy} \right) \sin \alpha + \left(\frac{dh}{dy} + h \frac{d\alpha}{dx} \right) \cos \alpha \right]. \quad (3)$$

где α – тангенс угла между направлением перемещения точки деформируемого материала и вертикальной осью.

h – расстояние между соседними узлами вдоль траектории движения частиц в процессе деформации.

x, y – проекции перемещения деформируемой точки на соответствующие оси.

Для определения скоростей деформаций при установившемся движении необходимо разделить соответствующие компоненты приращения деформации (формулы 1-3) на время Δt [2]:

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{\square \epsilon_x}{\square t}; \quad (4)$$

$$\dot{\epsilon}_y = \frac{\square \epsilon_y}{\square t}; \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{\square \epsilon_{xy}}{\square t}. \quad (6)$$

Интенсивность скорости деформации получим, используя формулу предложенную автором работы [3]:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\dot{\epsilon}_x - \dot{\epsilon}_y)^2 + \dot{\epsilon}_x^2 + \dot{\epsilon}_y^2 + \frac{3}{2} \dot{\epsilon}_{xy}^2}. \quad (7)$$

Формулы (1-7) являются основными для определения кинематики плоско-деформированного

состояния и определения напряжений в зоне резания.

Из теории пластического течения следует, что направления главных линейных деформаций (приращения деформаций) совпадают с направлением главных нормальных напряжений. Основываясь на этом положении, с использованием экспериментальных данных о перемещениях точек, были построены линии главных нормальных напряжений (Рис.5).

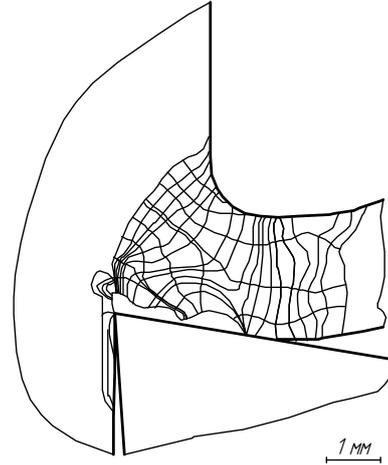


Рис.5. – Линии главных нормальных напряжений при резании меди М1 резцом с передним углом $\gamma=10^\circ$.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Использование метода спекл-интерферометрии для изучения деформированного состояния зоны резания позволяет повысить точность измерения и снизить трудоемкость обработки экспериментальных данных.

2) Анализ полученных экспериментальных данных показал, что результаты полученные методом спекл-интерферометрии хорошо согласуются с известными положениями теории резания металлов.

3) По полученным данным можно с достаточной точностью определить зону, в которой происходит превращение срезаемого слоя в стружку.

Список литературы

1. Дель Г.Д. Технологическая механика. Москва: изд. Машиностроение, 1978. 174 с.
2. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. Москва: изд. Машиностроение, 1969. 504 с.
3. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. Томск: изд. STT, 2001. 180 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Халикова Г.Р.

Научный руководитель: Насибуллаев И.Ш., к.ф.-м.н.
Уфимский государственный авиационный технический университет,
450000, Россия, г.Уфа, ул.Карла Маркса, 12

E-mail: xalgalrin@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Разработка новых конструкций связана с проведением термопрочностных расчетов. Сложность этих расчетов зависит от сложности самой конструкции. Инженерные пакеты позволяют упростить моделирование прочностных задач сложных конструкций, но время расчета, особенно для геометрии содержащей большое количество конечных элементов может быть большим. Анализ уравнений на упругие деформации относительно линейных преобразований координат и нагрузок позволяет провести в инженерном пакете единичный расчет и пересчитать распределения напряжений для различных нагрузок с помощью масштабирования, а так же определить критические параметры конструкции (например, достижение предела текучести в концентраторах напряжений).

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим масштабирование уравнений для упругих деформаций относительно преобразования $x_i = aX_i$, где x_i — первоначальные координаты тела, X_i — преобразованные координаты, a — масштабный коэффициент.

Согласно закону Гука, сила упругости, возникающая в теле при его малой деформации, прямо пропорциональна величине этой деформации. Поэтому вектор деформаций преобразуется в виде $u_i = aU_i$. Тензор напряжений не меняется:

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) = \left(\frac{a\partial U_i}{a\partial X_k} + \frac{a\partial U_k}{a\partial X_i} \right) = \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_k} + \frac{\partial U_k}{\partial X_i} \right),$$

где a — масштабный коэффициент для линейного размера. При масштабировании размера тензор деформации не меняется.

Тензор напряжений и тензор деформаций связаны линейно:

$$\sigma_{ik} = K\varepsilon_{ii}\delta_{ik} + 2\mu \left(\varepsilon_{ik} - \frac{1}{3}\delta_{ik}\varepsilon_{ii} \right),$$

где коэффициенты K (модуль всестороннего сжатия) и μ (модуль сдвига) характеризуют упругие свойства материала [1]. При преобразовании линейного размера тензор напряжений σ_{ik} не меняется.

В статических задачах с внешней силой f тензор напряжений определяется из условия равновесия:

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} + f_i = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ik}}{a \partial X_k} + f_i = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial X_k} + F_i = 0,$$

где $F_i = af_i$, т.е. уравнения остаются неизменными при замене $f_i \rightarrow af_i$.

Для определения зависимости от деформаций от внешних нагрузок рассмотрим преобразование $F' = bf$, где b — коэффициент масштабирования внешней силы. Давление p преобразуется как:

$$p = \frac{f}{s} = \frac{F'/b}{S'/a^2} = \frac{a^2}{b} \cdot \frac{F'}{S'} = \frac{a^2}{b} \cdot P'$$

где s — единица площади до преобразования.

Окончательно получим преобразования:

$$x_i \rightarrow ax_i, f_i \rightarrow bf_i, p \rightarrow (a^2/b)p.$$

2. РАСЧЕТЫ

Покажем применение полученных преобразований для расчета предела текучести 3D элемента полой лопатки (Рис. 1) состоящей из соединительной хорды между двумя листами металла в инженерном пакете ANSYS Mechanical. В качестве основного типа конечных элементов был выбран элемент SOLID186, поскольку он поддерживает необходимые для рассматриваемой задачи степени свободы и поддерживает необходимые свойства материала (модуль Юнга, коэффициент Пуассона). Нижняя поверхность закреплена, к верхней поверхности верхнего бруска задается перепад давления — 1...2 МПа. В качестве материала образца выбран титановый сплав ВТ6 [2]. Используются следующие параметры модели материала, зависящие от температуры: модуль Юнга $E_{vt6} = 1.17 \cdot 10^{11}$ Па (взят из библиотеки материалов инженерного пакета Deform 3D) при температуре диапазоне $T=20^\circ\text{C}$ и коэффициент Пуассона $\nu = 0,31$.

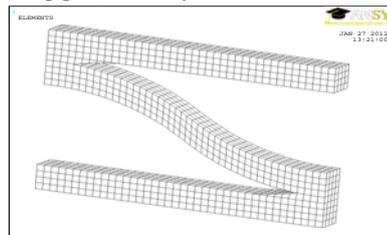


Рис.1. Геометрия образца, разбитая на КЭ

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для материала ВТ6 при $T=20^\circ\text{C}$ концентраторы напряжений располагаются на стыке нижнего и

верхнего листов металла с хордой. Предел текучести для ВТ6 при $T=20^{\circ}\text{C}$ достигается при соотношении $a^2/b = 1,325$ (например, $a=1$, $b=0.755$). При этом значение внешнего давления становится равным $1,325 \cdot 10^6$ Па.

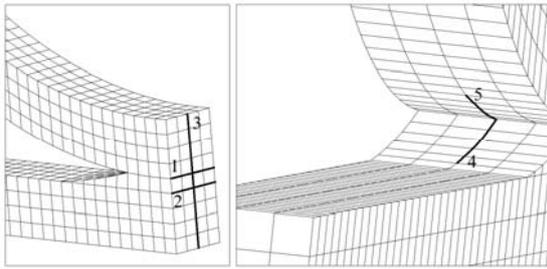


Рис. 2. Контрольные линии для измерения напряжений

На Рис. 3-6 построены графики распределения напряжений вдоль выбранных линий. Вдоль направлений 1 и 2 распределение напряжений равномерно в пределах 2-3%, а вдоль остальных линий напряжения меняются в значительном диапазоне.

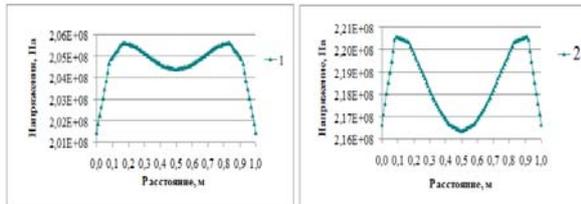


Рис. 3. Распределение напряжений вдоль линий 1,2

На рис. 5-6 видно, что обе линии сходятся в одной точке (концентратор напряжений) со значением напряжения 900 МПа. Вдоль линий 4 и 5 падение напряжения через 3 элемента составляет 10 и 3 раза, соответственно. Вдоль линии 3 (Рис. 4) напряжения снижаются 4,5 раза по сравнению со значением в концентраторе. Таким образом, концентратор напряжений сильно локализован и вблизи него необходима более подробная сетка.

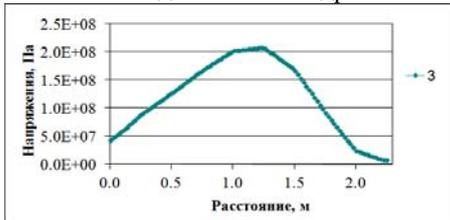


Рис. 4. Распределение напряжений вдоль линии 3

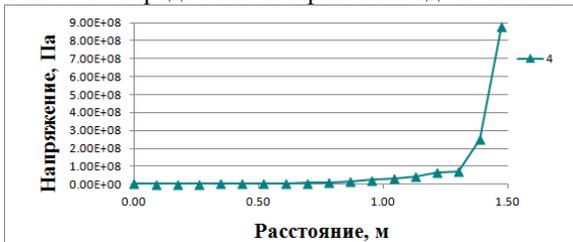


Рис. 5. Распределение напряжений вдоль линии 4

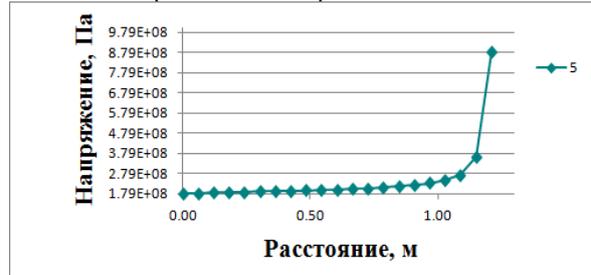


Рис. 6. Распределение напряжений вдоль линии 5

Для определения критического значения внешнего давления, при котором в концентраторе напряжений достигается предел текучести, понадобился единичный расчет в инженерном пакете. На основе рассчитанного в пакете поля напряжения и с помощью преобразований линейных размеров и внешних нагрузок было найдено критическое значение. Отметим, что любой набор параметров, удовлетворяющих условию $a^2/b < C$ (для нашей конструкции $C=1,325$) соответствует упругим деформациям, и разрушения конструкции за счет течения металла не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было проведено изучение уравнений на упругие деформации относительно линейных преобразований размеров и нагрузок. С помощью преобразований для единичного расчета элемента полый лопатки было найдено напряжение, при котором в концентраторе напряжений достигается предел текучести. На основе полученных преобразований планируется разработка макроса в пакете ANSYS Mechanical, определяющего максимальную нагрузку, при которой достигается предел текучести.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений» (шифр 2010-218-01-133) в рамках реализации постановления № 218 Правительства РФ от 9.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау Л.Д., Липшиц Е.М. Теоретическая физика в 10т., Т.VII Теория упругости – М.: Наука, 1987. – 248с.
2. ГОСТ 19807-91: Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛИ ПРИВОДА ПОДАЧ МАЛОГАБАРИТНОГО 3-Х КООРДИНАТНОГО ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА

Цыганкова М. В.

Научный руководитель: Крауиньш П.Я. д.т.н. профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: maruc@sibmail.com

В настоящее время мировое сообщество разработчиков проектов и объектов переходит на новый уровень проектирования. Все объекты проектирования изучаются без создания экспериментальных образцов. Такое изучение свойств и параметров возможно посредством создания математических динамических моделей. Создание сложных изделий машиностроения - это длительный процесс проектирования, состоящий из нескольких стадий и последовательных приближений к окончательному варианту. Компьютерные технологии сокращают сроки и затраты при проектировании и технологической подготовке производства сложных изделий машиностроения, а также повышают их качество.

Выявлено то, что изменение конструктивных параметров оказывает большее влияние на характеристику переходного процесса, чем изменение технологических, поэтому рассматривать динамические характеристики привода подачи станка необходимо еще на стадии его разработки.

В данной работе рассмотрен привод подачи малогабаритного 3х координатного гравировального станка. В станках с ЧПУ перемещение осуществляется следящими приводами [1]. В данной работе в качестве приводного двигателя выбран шаговый двигатель. Шаговые двигатели имеют широкий диапазон угловых разрешений. Преобразователь движения – шариковая винтовая передача (ШВП). Шариковая винтовая передача — наиболее распространенная разновидность передачи винт-гайка качения (винтовая пара с промежуточными телами качения: шариками или роликами). Функционально ШВП служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное (и наоборот). ШВП обладает всеми основными техническими преимуществами передачи винт-гайка скольжения, и при этом не имеет ее главных недостатков, таких как низкий КПД, повышенные потери на трение, быстрый износ. Благодаря компактным размерам и простоте конструкции ШВП могут быть легко интегрированы в различные машины и механизмы [2].

На рис.1 приведена конструктивная схема привода подачи по одной из координат. Конструктивно ШВП состоит из винта и гайки с винтовыми канавками криволинейного профиля. Канавки служат дорожками качения для размещенных между витками винта и гайки шариков. Перемещение шариков происходит по замкнутой траектории — при вращении винта шарики вовлекаются в движение по винтовым канавкам, поступательно перемещают гайку и через перепускной канал (канал

возврата) возвращаются в исходное положение. Каналы возврата выполняются в специальных вкладышах, которые вставляются в соответствующее окно гайки, по числу рабочих витков.

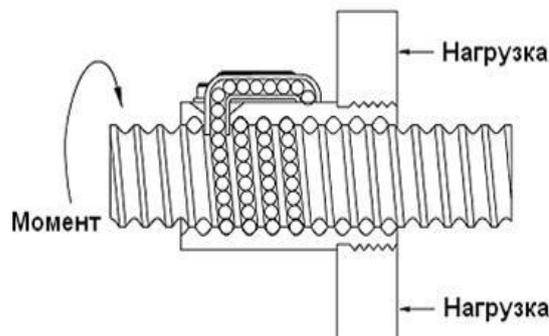


Рис.1. Конструктивная схема ШВП

При работе передачи шарики, пройдя по винтовой канавке на винте свой виток, выкатываются из резьбы в перепускной канал вкладыша, перекачиваются через выступ резьбы и возвращаются в исходное положение на тот же или на соседний (в зависимости от конструкции) виток. Такая же схема верна и для остальных приводов. Так как оси станка ортогональны, то взаимным влиянием, приводов станка, можно пренебречь.

В данной передаче люфт отсутствует, но если рассматривать систему с наличием люфта, то в модели можно изучить вязкое или сухое трение. Кронштейны металлоконструкции, ШВП и др. стыки деталей обладают жесткостью, она зависит от положения стола и может также быть нелинейной, что тоже возможно учитывать при создании модели. Шаговый двигатель является синхронной машиной, ее движущий момент зависит от отклонения текущего угла от заданного. Эта зависимость при малом отклонении линейна, при больших отклонениях она существенно нелинейна. Согласующий редуктор не требуется, если шаг винта ШВП меньше 5 мм, при требуемой точности 0,03 мкм. В соединении (муфте) первоначально люфт отсутствует, однако с течением времени он может возникнуть, что также может быть учтено в модели.

Анализировать переходные процессы можно только по модели, учитывающей влияние всех технологических и конструктивных параметров приводов подачи станков.

Установим функциональную связь между подводимым к винту крутящим моментом и линейным перемещением гайки. При построении мате-

матической модели ШВП примем следующие допущения. Трение в подшипниках опор винта и в паре винт-гайка является линейным, не учитываются гироскопические и инерционные силы в ШВП, жесткость винта и гайки по длине неизменна, при определении инерции механизма массой шариков как сравнимо малой пренебрежем, не учитываются возможные погрешности изготовления элементов. Составим расчетную схему (рис. 2).

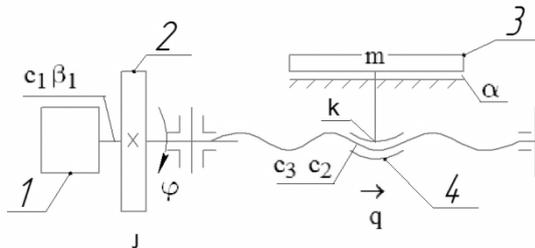


Рис. 2. Расчетная схема ШВП:

Где 1- шаговый двигатель, 2- маховик, 3- стол, 4, винт-гайка. m – масса гайки, J – момент инерции винта, c_1, c_2, c_3 – жесткость винта, передачи винт-гайка, опоры винта, соответственно, β_1 и k – коэффициенты демпфирования в подшипниках и ШВП, соответственно, q – линейное перемещение гайки, φ – угол поворота винта,

Из теории механических колебаний [3] известно, что дифференциальное уравнение движения под действием произвольно заданной вынуждающей силы имеет вид:

$$a + b + c * q = F(t)$$

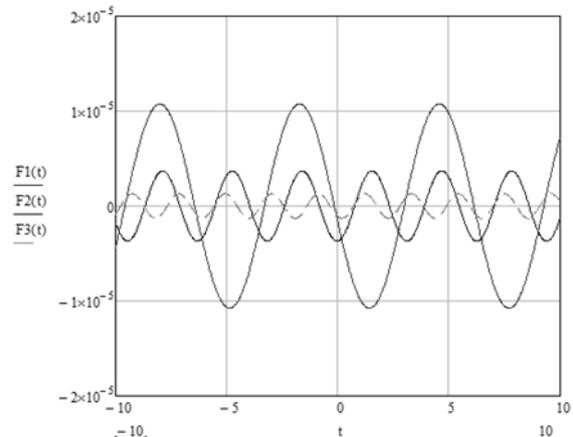
где: q – обобщенная координата; a – инерционный коэффициент; b – обобщенный коэффициент трения; c – обобщенный коэффициент жесткости системы; $F(t)$ – вынуждающая внешняя сила. За обобщенную координату (q) примем линейное перемещение гайки.

По расчетной схеме составим уравнения описывающие работу привода подач :

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \beta_1 \frac{d\varphi}{dt} + c_1 \varphi = c_1 \varphi_0$$

$$m \frac{d^2 q}{dt^2} + \alpha \frac{dq}{dt} + (c_1 + c_2) q = \varphi K c_2$$

При моделирование постоянными принимают - масса (m) и момент инерции винта (J). Ос-



тальные величины меняются в заданных границах. Изучалась как целая картина влияния всех параметров, так и влияние каждого из параметров в отдельности.

Моделирование динамических характеристик системы было выполнено по средствам MathCAD. По средствам программы были созданы графики зависимостей расчетных параметров. Один из графиков представлен на рис.3.

Математическое моделирование позволяет производить изучение привода подач при варьировании всех имеющихся параметров в пределах заданных границ. Прделанная работа была направлена на выявление параметров в большей степени влияющие на работу привода подач.

Рис.3. График изменения собственных колебаний системы в зависимости изменения жесткости системы.

Особую перспективность имеет дальнейшая работа над коррекцией проектируемой системы на основе полученных данных при анализе математической модели, что позволяет наиболее точно прогнозировать варьирование основных параметров системы. Изучение математической модели позволит в будущем обходиться без создания масса-габаритных и технологических макетов, тем самым сокращая издержки на первичное аппаратурное проектирование механизма.

Список литературы:

1. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. ледящие электроприводы станков с ЧПУ. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 222 с.
2. Пяси́к И. Б. Шариковинтовые механизмы. Киев: Машгиз, 1962. 199 с.
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: Учебное пособие. — М.: Наука, 1980. — 270 с

ОБЗОР ВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ

Пашков Е.Н., Черкасов С.О., Загороднев Р.А.

Научный руководитель: Пашков Е.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: cherkasov_so@mail.ru

Вязальный пистолет - одно из новейших средств для вязки арматурных прутьев, применяемых на строительстве аэродромов, дорог, каналов, мостов и плотин. Пистолеты для вязки арматуры используются в монолитном домостроении, на заводах ЖБИ и везде, где используются железобетонные конструкции. В современном монолитном строительстве все большее значение приобретают сроки и себестоимость производимых работ. Скрепление арматурных прутьев проволокой - обязательная технологическая процедура.

Традиционно работы по вязанию арматуры выполняются рабочими:

1. Вручную - вязание арматуры стальным крючком. Данный способ основан на предварительной завязке двух стальных петель и дальнейшем "поддевании" петель на стальной крючок и его закручивании рукой в какую-либо сторону для получения узла)

2. Автоматическим крючком. Способ основан на использовании того же самого стального крючка, но снабжённого специальным "механизмом затяжки", который при поступательно-вращательном движении стягивает петли стальной проволоки, образуя узел.

Однако традиционные способы соединения арматурных прутьев являются неэффективными по сравнению с использованием автоматического вязального пистолета.

Пистолеты для вязки арматуры работают при температуре от -25 до +40 градусов. Установлена система подогрева и охлаждения. Каждый вид пистолета работает с определенным диапазоном диаметров арматур. Вяжет арматуру проволокой. Работает на аккумуляторах, рассчитанных приблизительно на 2000 обвязок, внешне похож на шурупверт.



Когда первое оборудование в 2003 году было окончательно запатентовано и представлено оно сразу завоевало премию CIF, как лучшее инновационное изобретение в монолитном строительстве и буквально взорвало рынок монолитного строительства.

Оборудование было представлено под торговой маркой RE*BAR*TIER, японской компании MAX CO., В 2003 оборудование поступило на российскую площадку на испытание, рабочие – вязаль-

щики арматуры, сразу окрестили его «ПИСТОЛЕТ», это было проще чем выговаривать двусмысленное «РЕБАРТАЕР» от RE*BAR*TIER. С тех пор пистолеты претерпели большие изменения и доработки, и применяются во всех странах мира, а название «ПИСТОЛЕТ» так и осталось.

Анализ вышеуказанных методов соединения арматурных прутьев помог выявить достоинства и недостатки каждого:

1. Соединение арматурных прутьев вручную, то есть с использованием стального крючка или пассатижей - метод наиболее экономически выгодный, но при этом, наиболее энергетически затратный, так как требует физическую силу рабочего, постоянный контроль правильности полученного узла, что оказывает влияние на прочность затяжки прутьев, а значит и на долговечность узлового соединения при работе в условиях знакопеременных нагрузок, в частности вибрации. Данный вид работы требует опыта и квалификации арматурщика, халатность соединения арматурных прутьев в узлах - является недопустимой, так как непрочность затяжки узлов создаёт дополнительные концентраторы напряжений, которые при знакопеременных нагрузках могут превысить предел текучести материала проволоки, и тем самым привести его к постепенному разрушению, а значит и к постепенному разрушению всей конструкции. Кроме того, способ неэффективен из-за своей не технологичности - скорость вязки арматурных прутьев, а значит и производительность работ на строительной площадке является низкой в связи с различными факторами - число предварительных операций до начала затяжки, физическая подготовленность и моральная мотивация рабочего и т.д.

2. Соединение арматурных прутьев автоматическим крючком - способ более экономически затратный, так как необходимо специальное оборудование, но более эффективный, так как прочность затяжки выше, энергетические затраты рабочего меньше, а значит и скорость работ выше, чем при ручном методе вязки - 4 секунды требуется для затяжки одного узла автоматическим крючком. Однако у способа есть и недостатки - это, в первую очередь, невысокий технологический уровень, связанный с предварительным количеством операций, необходимым для затяжки узла, во-вторых, данный инструмент эффективен при небольшой площади связываемых арматурных прутьев, поэтому производительность автоматического крючка сказывается лишь на небольших площадках. Энергетические затраты рабочего будут по-прежнему высоки если данный инструмент использовать при достаточно большой площади связываемых арматурных прутьев. Устройство автоматического крючка достаточно простое для использования и ремонта в случае его поломки. Кроме вышесказанного, автоматический крючок требует меньшего контроля соединения, однако показатель навыков,

предъявляемых к арматурщику является по-прежнему высоким.

3. Соединение арматурных прутьев с помощью вязального пистолета - способ наиболее экономически выгодный и менее энергозатратный по сравнению с вышеуказанными способами соединения арматурных прутьев. Один такой пистолет "заменяет" шесть рабочих, то есть его производительность эквивалентна работе шести арматурщиков. Его эффективность показывает себя при работе с большими площадями соединяемой арматуры, показатели производительности работ гораздо выше - время вязания одного узла от 0,8 до 1 секунды, чем при использовании ранее упомянутых методов. Кроме того, арматурные каркасы лучше не перемещать, а вязать на месте. Первый недостаток вязального пистолета - он полностью не заменит "крючок". На каждой площадке есть места, куда не один пистолет не залезет, это углы, специфические балки и т.п. Пистолет незаменим и эффективен на перекрытиях, стенах площадью от 2-3 м². Он ускоряет монотонную работу вязальщиков в разы. Рабочий с крючком всегда может подвязать углы и труднодоступные места. Поэтому наибольшая эффективность применения данного инструмента сказывается при работе в "паре" - рабочий с вязальным пистолетом и рабочий с вязальным крючком, так как всегда можно подвязать нижний или второй слой арматуры, просунув руку с крючком между хлыстами арматуры, с пистолетом это будет невозможно. К тому же, стоимость пистолета очень высокая и держать 20-30 штук на одной площадке будет дорого и не эффективно. Конечно, пистолет решает самую сложную задачу на крупной строительной площадке, он сокращает время связки арматурного каркаса, сокращает ручной труд до минимума. Сокращает самый продолжительный и трудоемкий этап работ, если у вас достаточное количество опалубки, арматуры, бетона, трансформаторов для его прогрева, единственное, что вас серьезно сдерживает, это вязка арматурного каркаса, но теперь и эта проблема решена. Следующим недостатком вязального пистолета является необходимость использования специальной калиброванной проволоки, обычная отожжённая проволока здесь не подойдёт. Устройство вязального пистолета сложнее, чем автоматического крючка, но любой инструмент проработает долго, если достойно к нему относиться. Автоматизация требует культуру производства, то есть, нет необходимости в использовании квалифицированных рабочих кадров. Стереотипы, которые не позволяют внедрять инструмент в производство основаны на сложившихся понятиях, привычках, опыте и знаниях. Однако вспомните, что над первым трактором люди

смеялись, приходилось с усилием его внедрять в сельское хозяйство, люди не понимали, зачем отказываться от лошади. А значит, необходимо лишь время и терпение для того, чтобы сравнить показатели производительности работ, их качества и эффективности, для признания такого "нового" инструмента, а также для сравнения экономических затрат на строительство объекта. Другая сложность внедрения - это назначение каждого вида пистолетов, диаметр проволоки, которая используется в процессе вязки. Стоит отметить, что диаметр проволоки зависит от веса и размера арматуры, которые создают нагрузку, значит, необходим такой диаметр проволоки, при котором конструкция будет прочной и не разрушится. Диаметр арматуры и диаметр проволоки - есть те главные проблемы, которые мешают использовать один и тот же пистолет для вязки арматуры различных диаметров. Но есть решение и этой проблемы. Как правило, берут два пистолета один на перекрытие с удлиняющим устройством, другой - на стены, в зависимости от конструкции. Количество необходимых вязальных пистолетов зависит от количества квадратных метров связываемой арматуры. Технологичность вязального пистолета основывается на минимизации количества необходимых предварительных операций, а также на энергозатратах рабочего при работе с инструментом.

Выводы:

Вязальный пистолет - это, прежде всего, профессиональный инструмент, рассчитанный на использование в серьезных строительных компаниях возводящих крупные сооружения из бетона. Он не предназначен для небольших по объему работ или небольших компаний. Пистолет решает самую сложную задачу, снижает ручной непроизводительный труд. Внедрение автоматизации ручного труда всегда было затратным процессом (швейная машина, паровые машины, ткацкие станки и т.п.), но те, кто на него решался, получали значительные преимущества (повышение производительности, стабильность качества и т.п.). При правильной организации производства с применением автоматического вязального устройства можно довести скорость возведения многоэтажного жилого здания до одного этажа за 3-5 дней, что очень актуально при строительстве в сложных климатических условиях.

Использованные источники информации:

<http://www.max-europe.com/pdf/brochure>

<http://www.lwest.ru/catalog/91/108/>

http://www.promosnova.ru/stati_materialy_poleznye_sovety/13513/page/1/

<http://www.rebartier.ru/2010-07-12-11-33-17.htm>



Рис. 4. Испытание образцов

Результаты экспериментальных испытаний представлены в таблицах 1, 2. Экспериментальные значения критической нагрузки образцов $P_{\text{экспер}}$ и численные расчеты в системе ANSYS $P_{\text{расчет}}$ приведены в таблице 3.

Таблица 1

Результаты эксперимента, $d=90\text{мм}$

№ экс.	№ обр	Кол-во слоев	Кол-во слоев п/нагрузки	Уклад. Препр.	Дефект типа отслоение	
					наличие отслоения	$P(\text{кН})$ экспер.
1	1	10	1	90,0	-	-
2	2	10	1	90,0	+	20,64
3	8	10	1	45,-45	+	10
4	3	10	1	90,0	+	17,88
5	4	10	1	45,-45	-	-

Таблица 2

Результаты эксперимента, $d=50\text{мм}$

№ экс.	№ обр	Кол. слоев пакета	Кол. слоев дефек.	Укладка препрега	Мат-л	Дефект типа отслоение	
						наличие отслоения	$P(\text{кН})$
6	17	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
7	18	5	1	45,-45	ПС-ИФ	+	4,5
8	19	5	1	45,-45	ПС-ИФ	+	3,3
9	20	10	2	45,-45	ПС-ИФ	-	-
10	2	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
11	3	5	1	45,-45	ПС-ИФ	-	-
12	4	5	1	90,0	ПС-ИФ	+	8,71
13	5	5	2	90,0	T-10	-	-
14	6	5	2	90,0	T-10	-	-
15	7	10	1	90,0	T-10	+	20,3
16	8	10	1	90,0	T-10	+	17,44
17	9	10	1	90,0	T-10	-	-
18	10	10	2	90,0	T-10	-	-
19	11	10	2	90,0	T-10	-	-
20	12	5	1	90,0	T-10	-	-
21	13	5	1	90,0	T-10	-	-

Таблица 3

Результаты расчета и испытаний

Кол-во слоев	Кол-во слоев д/дефекта	Укладка препрега	Диаметр образца, мм	Критическая сила потери устойчивости дефекта типа отслоение (кН)	
				$P_{\text{экспер}}$	$P_{\text{расчет ANSYS}}$
10	1	90,0	90	20,64	19,36
		45,-45		10	8,72
5	1	45,-45	50	4,5	4,9
		90,0		8,71	7,19
10	1	90,0		20,3	21,69

Результаты, полученные в работе:

1. Разработана методика проведения эксперимента, проведена серия испытаний. Результаты экспериментальных работ представлены в виде таблиц.
2. Разработана методика моделирования элементов конструкций с дефектами расположенными на разной глубине залегания в системе ANSYS.
3. Произведены: численное моделирование, расчет на прочность методом конечных элементов в системе ANSYS. Результаты расчета представлены в виде таблицы. Результаты, полученные в ходе эксперимента сопоставимы с численными расчетами, степень сходимости в пределах 15-20 процентов.

По результатам экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

- в 5- и 10-слойных образцах (с одинаковыми характеристиками и с заложенным технологическим дефектом на глубине одного слоя) при укладке армированной ткани под углом $[45,-45]_5$, критическая нагрузка дефекта типа отслоение уменьшается на 50% в отличие от укладки армированной ткани под углом $[0, 90]_5$ (табл. 1, 2);
- диаметры образцов труб не оказывают существенного влияния на критическую нагрузку дефекта типа отслоение.

Список литературы:

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Бохоева Л.А. Особенности расчета на прочность элементов конструкции из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами// - Изд. ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2007.-192с.
3. 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.

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Р.В. Чернухин

Юргинский технологический институт (филиал)

Томского политехнического университета, 652050, Россия, г. Юрга, ул.Заводская, 10

E-mail: rv_81@mail.ru

Сбор статистических данных по эксплуатационной надежности проводился с целью выявления доли отказов, приходящихся на рулевое управление.

Для сбора информации об отказах и простоях автомобилей использовались лицевые карточки автомобилей. Лицевая карточка заполняется на предприятиях на каждый автомобиль. В них отражается информация по виду проводимого ремонта, дням простоя, наработке автомобиля, а также информация о проведении технических обслуживания. Внутренний контроль за правильностью ведения осуществляют начальники автоколонн, внешний – транспортная инспекция.

Анализ эксплуатационной надежности проводился среди наиболее многочисленной в нашей стране группы грузовых автомобилей – ЗиЛ и КамАЗ. Информация была собрана по 40 автомобилям (21 марки КамАЗ и 19 марки ЗиЛ) за период с 2007 по 2010 год. Общий пробег всех автомобилей за указанный период составил более 5,66 млн. км. Средняя наработка на отказ составила 5421 км. Среднее число дней простоев составила 99 дней на один автомобиль.

Распределение отказов по маркам автомобилей представлено на рис.1 и 2.

Приведенные данные показывают, что доля отказов рулевого управления составляет 6% для автомобилей ЗиЛ и 8% – для автомобилей марки «КамАЗ». Доля материальных затрат на устранение отказов рулевого управления составила 5%, а трудоемкость восстановления 6,1% от общего числа материальных и трудовых затрат соответственно. Несмотря на невысокий процент отказов рулевого управления, нельзя забывать, что от исправности этой системы зависит управляемость автомобиля и, в конечном счете, безопасность эксплуатации. Поэтому при проведении технического обслуживания особое внимание

следует уделять рулевому управлению. Основным диагностическим параметром, определяющими допуск к эксплуатации, является суммарный люфт на рулевом колесе.

Необходимо отметить, что суммарный рулевой люфт – это обобщающий и косвенный параметр, и его ухудшение связано с износом или ослаблением крепления рулевого механизма и рулевого привода. Таким образом, кроме определения суммарного люфта, необходимо проведение углубленного, поэлементного диагностирования всех сопряжений, влияющих на величину рулевого люфта. Кроме того, значение суммарного рулевого люфта, находящееся в пределах нормы, не всегда указывает на исправность рулевого управления.

Поэтому, для оценки технического состояния рулевого управления измерения лишь суммарного рулевого люфта недостаточно и для определения работоспособности необходимо применение методов поэлементного диагностирования.

Необходимо отметить, что суммарный рулевой люфт – это обобщающий и косвенный параметр, и его ухудшение связано с износом или ослаблением крепления рулевого механизма и рулевого привода. Таким образом, кроме определения суммарного люфта, необходимо проведение углубленного, поэлементного диагностирования всех сопряжений, влияющих на величину рулевого люфта. Кроме того, значение суммарного рулевого люфта, находящееся в пределах нормы, не всегда указывает на исправность рулевого управления.

Поэтому, для оценки технического состояния рулевого управления измерения лишь суммарного рулевого люфта недостаточно и для определения работоспособности необходимо применение методов поэлементного диагностирования.

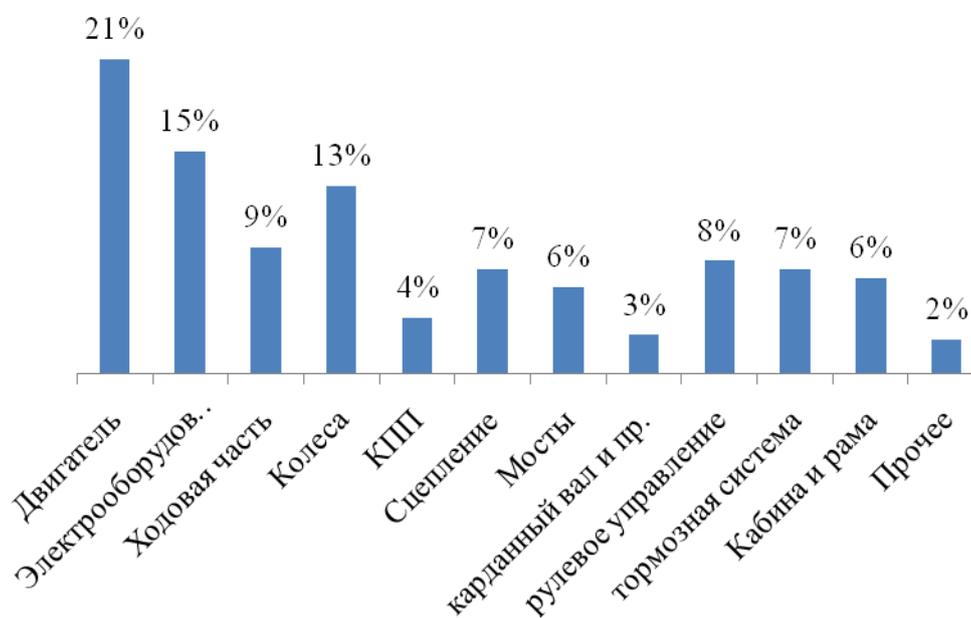


Рис.1 Распределение отказов автомобилей ЗиЛ

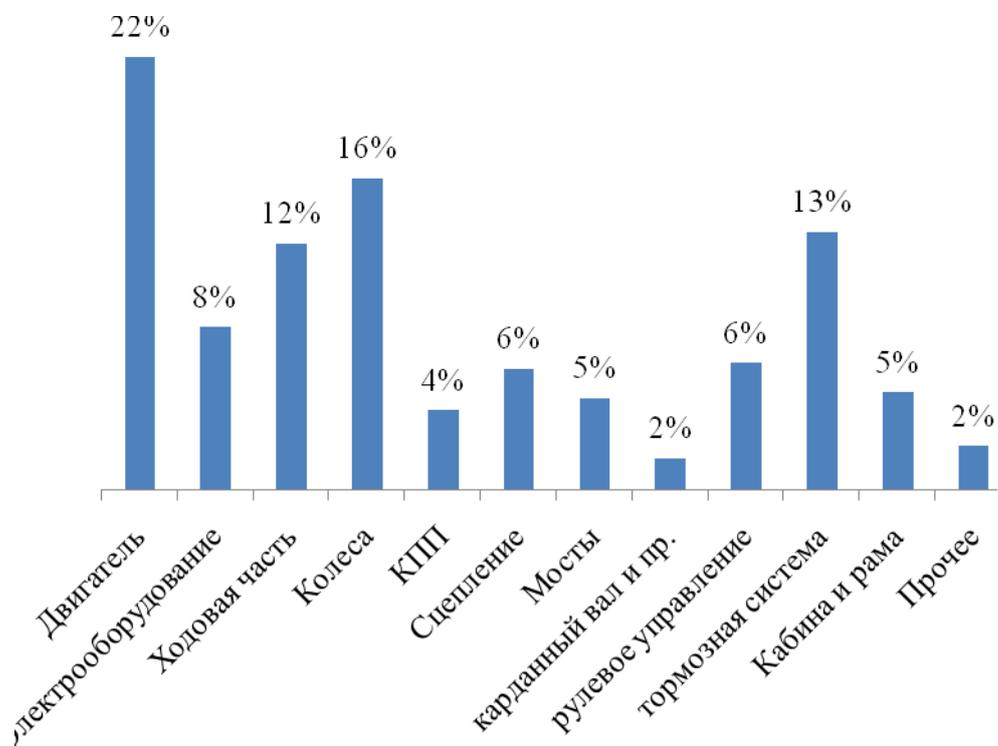


Рис.2 Распределение отказов автомобилей КамАЗ

РАЗРАБОТКА ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ

Шершнева К.В., Симанкин Ф.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: k_shershneva@mail.ru

В настоящее время использование различной полимерной продукции является неотъемлемой частью повседневной жизни человека, завоевывая все большее число рынков сбыта. Закономерным следствием этого является рост объемов отходов. Однако, следует отметить, что подавляющее большинство отходов полимерной продукции может быть подвергнуто вторичной переработке и дальнейшему использованию [1]. Таким образом, специальное оборудование, применяемое для вторичной переработки отходов полимерной продукции занимает очень значимое место в эффективном ресурсопользовании.

К одному из видов вышеуказанного оборудования относятся мойки-агломераторы для переработки отходов полиэтиленовой пленки [2]. Особенностью данного оборудования является верхняя загрузка перерабатываемого материала в приемный бункер агломератора. Таким образом, необходимым функциональным элементом данного оборудования является загрузочное устройство, автоматизирующее процесс загрузки. Проведенный анализ показал, что на данный момент основными типами загрузочных устройств являются подъемные столы, конвейеры и подъемные устройства ковшового типа с цепным приводом. Следует отметить, что, несмотря на имеющиеся достоинства, данные конструкции характеризуются слишком большими массо-габаритными характеристиками (что усложняет процессы монтажа – демонтажа, хранения и транспортировки) либо для них характерно нерациональное использование энергии привода. Например, у конвейеров прослеживаются такие недостатки как большая масса, сложность изготовления и высокая стоимость ходовой части, усложнение эксплуатации из-за большого числа шарнирных соединений, требующих постоянного наблюдения и ухода и подверженных повышенному износу и т.д. Что касается устройств с цепной передачей, то их главный недостаток – большие габариты, которые значительно превышают габаритные размеры основного оборудования (более чем в полтора раза). Это существенно ограничивает сферу их применения, так как, часто нет возможности монтажа загрузочного устройства в имеющемся помещении.

Таким образом, возникает задача проектирования загрузочного устройства нового типа, в котором вышеуказанные недостатки были бы устранены, либо сведены к минимуму.

На рис.1 представлена конструкция загрузочного устройства ковшового типа, в котором кинематика движения грузового ковша 2 реализуется за счет движения закрепленных на ковше катков 3 по направляющим специальной формы 4. Ковш «встро-

ен» в тяговую цепь 5, которая приводится в движение мотор-редуктором 6, расположенным на каркасе изделия 1. Натяжение холостой ветви цепи осуществляется натяжным устройством 7. Зона перемещений ковша закрыта защитным ограждением 8.

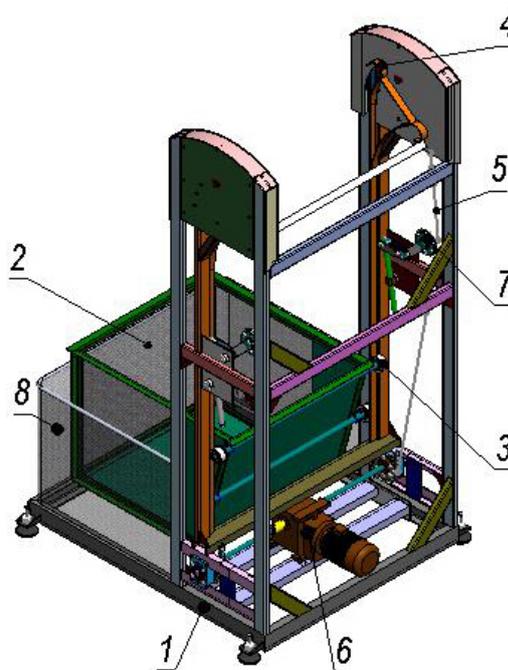


Рис.1 Общий вид загрузочного устройства

Данная схема позволяет значительно уменьшить массо-габаритные характеристики изделия, делая его общеприменимым, так как его размеры сопоставимы с размерами основного технологического оборудования. Кроме того, реализуется более экономичный с точки зрения энергоэффективности алгоритм работы оборудования, поскольку весь рабочий цикл подъема и выгрузки материала осуществляется счет простого вращения ведущей звездочки, приводящей в движение тяговую цепь, без каких-либо дополнительных управляющих перемещений.

На рис.2 грузовой ковш представлен в двух положениях: верхнее (а) – положение выгрузки материала, нижнее (б) - загрузочное.

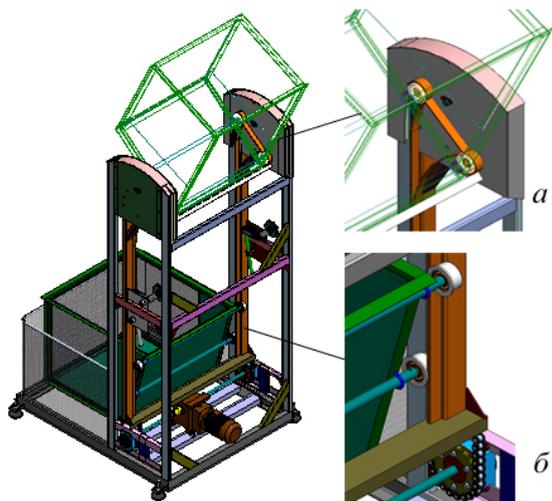


Рис.2 Рабочие положения грузового ковша

Для реализации требуемой траектории движения ковша в конструкции применены специальные направляющие, представляющие собой жестко соединенные между собой и закрепленные на каркасе стандартные прокатные профили – полосы. Установленные на ковше роликовые катки контактируют с направляющими – верхний каток с внутренней, нижний с наружной. Оси нижних катков являются водилами, «встроенными» в замкнутые тяговые цепи. Приводимые в движение ведущими звездочками, цепи перемещают грузовой ковш между верхним и нижним рабочими положениями. В верхнем положении направляющие раздваиваются, образуя расходящиеся ветви – внутренняя вперед и вниз, наружная – вперед и вверх. Катясь по направляющим, ковш сначала вертикально перемещается вверх, затем немного вперед, выходя в зону выгрузки. Далее, верхний каток фиксируется в замыкающей петле внутренней направляющей, нижний каток продолжает катиться вверх и вперед, тем самым заставляя ковш совершать опрокидывающее движение, вплоть до контакта с путевым выключателем, завершая тем самым цикл подъема ковша.

Для оптимизации массо-габаритных характеристик изделия проводились прочностные расчеты всех нагруженных элементов конструкции. Однако, характер сопряжения направляющих с каркасом загрузчика делает задачу определения оптимального по сочетанию прочности и массы типоразмера профиля направляющих весьма затруднительной. Прочностной анализ направляющих методом конечных элементов с использованием САЕ-модуля *Simulation*, системы автоматизированного проектирования *SolidWorks*.

В качестве критерия для оценки использовались интенсивность напряжений по фон Мизесу и величина коэффициента запаса прочности (рис.3). Сравнивая полученные величины с допускаемыми, делали вывод о пригодности анализируемого типоразмера прокатной полосы к использованию в проектируемом изделии. Анализ проводился при разных положениях ковша и для нескольких вариантов типоразмеров стандартных профилей. В результате проведенной работы был подобран оптимальный типоразмер прокатного профиля, который был использован в конструкции изделия.

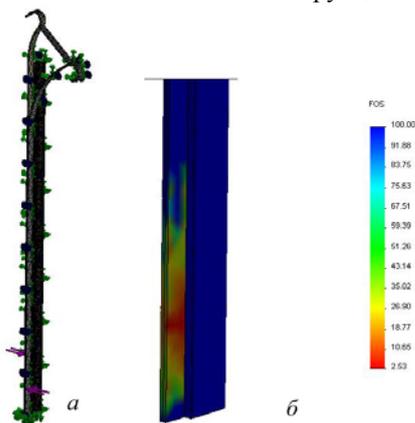


Рис.3 Визуализация результатов расчета направляющих (а – приложенные нагрузки, б – локализация участков с минимальным коэффициентом запаса прочности)

Таким образом, предлагаемая кинематическая схема устройства, в которой реализована траектория подъема и переворота ковша за один ход цепи привода, позволяет существенно (почти на 30%) снизить массу изделия без потери прочности в нагруженных элементах конструкции. При этом, габариты установки становятся сопоставимы с размерами основного оборудования, что выгодно отличает его от существующих аналогов

Литература

- 1.СиманкинА.Ф., Симанкин Ф.А. О возможности использования агломератов отходов полиэтиленовой пленки для целей рекультивации Вестник ТулГУ. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. Вып.3. с.158-161
- 2.Югай В.П., Симанкин Ф.А. Установка для мойки и агломерации отходов полиэтиленовой пленки// Вестник ТулГУ. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. Вып.1. с.20-22

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛОВОГО ШАГА СКАНИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА

Щербанский А.П., Гончаров И.С., Мухин Д.С.

Научный руководитель: Сикора Е.А., к.т.н., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30

E-mail: o-sea@tpu.ru

В настоящее время во многих областях науки, техники и медицины ощущается ограниченность возможностей традиционных роботов. Перспективным является применение автономных роботов-манипуляторов, например, для контроля трубопроводов атомных электростанций изнутри труб [1].

Обеспечение автономности функционирования роботов, достигается за счет применения специализированных следящих систем управления, которые в обязательном порядке включают датчики, от правильной настройки которых зависят быстродействие, эффективность и разрешающая способность этих систем. Особенно это касается бесконтактных датчиков типа энкодеры, сонары и индуктивных датчиков положения.

Применительно к роботам существует несколько технологий ориентирования в пространстве [2], которые можно условно разделить на два типа: контактные и бесконтактные. Первые подразумевают наличие механического устройства – «щупа» или «бампера», при помощи которого формируется информация о положении препятствий. Вторые – лазерные или ультразвуковые датчики, заменяющие механический «щуп». Преимуществом ультразвуковых датчиков (сонар) является возможность сканирования тел с внутренней структурой или тел, находящихся в однородной среде. При этом следует отметить, что сонары крайне чувствительны к различного рода шумам и могут реагировать на погодные явления, звуковые волны, создаваемые другим оборудованием, кондиционерами или даже флуоресцентными лампами.

Сонары входят в состав сканирующих устройств, которые воспринимают информацию о препятствиях в ультразвуковом виде, в том числе и в условиях отсутствия освещения, и сначала преобразует ее в электрическую форму, а затем приводит к цифровому виду, пригодному для обработки контролером.

Очевидная актуальность оптимизации параметров сканирующего движения заключается в повышении эффективности использования рабочего времени робота и экономии заряда аккумуляторной батареи.

Прямой причиной оптимизации является чрезмерное сканирование, которое возникает в двух случаях. Первый – это проведение сканирования

пространства с шагом, который слишком мал в условиях отсутствия препятствий в зоне чувствительности сонара. Второй случай – когда робот находится перед препятствиями, которые затем опять же сканируется с недостаточно большим шагом, несообразным размерам препятствий [3].

Последствия чрезмерного сканирования из-за использования постоянного или неправильного размера шага заключаются в том, что результаты не дают правильного представления о пространстве. В самом общем случае выявляются относительно крупные препятствия, при этом существенно снижается скорость маневрирования.

Цель работы: разработка методики оценки углового шага оптимального сканирования пространства роботом при заданных параметрах движения

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Сформировать критерий оптимальности сканирования пространства для ориентации робота.
2. Оценить размеры «слепых» зон возникающих при сканировании пространства, обусловленных движением робота.
3. Установить математические зависимости для расчета оптимального углового шага сканирования пространства.

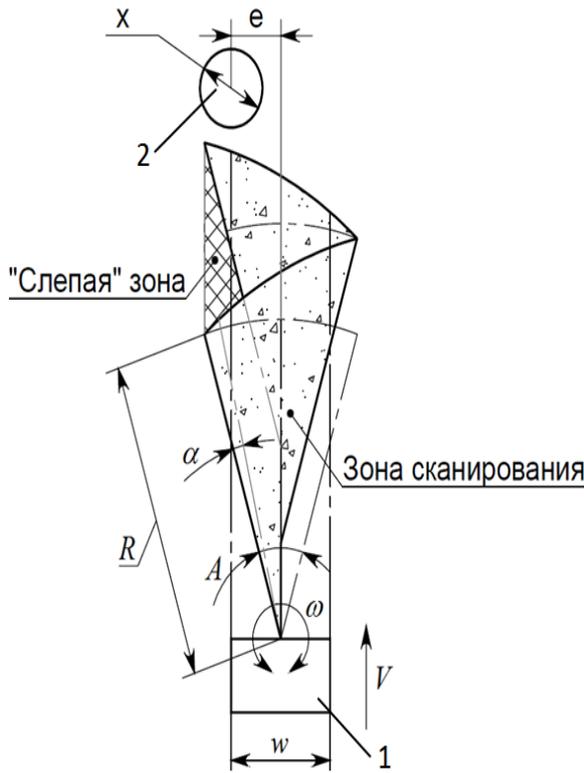


Рис. 1. Зоны работы сканирующего механизма: 1 – робот; 2 – препятствие

«Слепые» зоны оказывают значительное влияние на корректное движение (движение без столкновений) в основном на поворотах.

В связи с тем, что сканирование производится при движении робота, возникают «слепые» зоны, в которых не производится сканирование.

Рекомендации для расчета оптимального углового шага для обеспечения качественного сканирования на краях зоны сканирования:

1. Угловой шаг должен быть кратным углу сканирования, чтобы обеспечить условие равномерности сканирования:

$$\alpha = \frac{1}{n} \cdot A, \quad n = 1, 2, 3 \dots \infty$$

где α – угловой шаг сканирования, град; A – угол сканирования, град.

2. Если препятствие находится строго перед роботом ($e \leq (w - x) / 2$), то расстояние между двумя дальними точками сканирования должно быть меньше минимального размера препятствия:

$$\alpha_{\max} \leq \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{x_{\min}}{R}$$

где α_{\max} – максимальный угловой шаг сканирования, град; x_{\min} – минимальный размер препятствия, мм; R – дальность действия сонара, м, w – ширина робота, мм.

3. Если препятствие смещено относительно роботом ($e > (w - x) / 2$), то расстояние между двумя дальними точками сканирования должно быть:

$$\alpha_{\max} \leq \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \left(\cos \frac{A}{2} - \frac{w}{2R} \right)$$

Следовательно угловой шаг сканирования необходимо рассчитывать согласно обобщенному условию:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{1}{n} \cdot A, \quad n = 1, 2, 3 \dots \infty \\ \alpha_{\max} \leq \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon}{R} \\ \text{где } \varepsilon \begin{cases} \varepsilon = x_{\min}, \text{ при } e \leq (w - x) / 2 \\ \varepsilon = R \cos \frac{A}{2} - \frac{w}{2}, \text{ при } e > (w - x) / 2 \end{cases} \end{array} \right.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волкоморов С.В., Карпенко А.П., Лелетко А.М. Оптимизация угловых и линейных размеров одно- и двухсекционного манипуляторов параллельной кинематики // Наука и образование. 2010. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/154452.html> (дата обращения: 13.12.2011).
2. Ричардсон Р. Сканируя пространство // «Экспресс-электроника». 2003. URL: <http://citforum.univ.kiev.ua/hardware/articles/3dscan/> (дата обращения: 25.01.2012).
3. Пардо Р. Разработка, тестирование и оптимизация торговых систем для биржевого трейдера. – М: Минакс, 2002. – 217 с.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ

Щербинина А.А., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30

Email: nushenka17@gmail.com

При сварке различных конструкций большое внимание уделяется установке одной детали относительно другой, и эта задача решается с помощью различных устройств.

В настоящее время для фиксации деталей при сварке применяются различные механические зажимные приспособления (рис.1) [1]. С их помощью можно легко расположить обрабатываемые элементы конструкции наиболее удобным образом. Но такие зажимы характеризуются ограниченным ходом и диапазоном фиксаций и позволяют перемещать свариваемые части лишь по поверхности сварочной плиты.



Рис. 1. Механический зажим

Стремятся достичь лучшего сочетания параметров: точность, скорость установки и усилия фиксации. С этой точки зрения оптимальным является применение магнитных угольников (рис.2) с фиксированными стандартными углами (30, 45, 60 и 90 градусов). Для расширения функциональных возможностей магнитные угольники оснащены приспособлениями для регулировки угла наклона фиксируемых поверхностей (рис. 3) [2]. Однако, это увеличивает время установки деталей. Кроме того, сварка конструкций, собираемых не на плоскости, а в пространстве требует уже большого количества магнитных угольников.



Рис. 2. Магнитный угольник с углом 90°



Рис. 3. Магнитный угольник с регулируемым углом

Данная статья посвящена разработке устройств, упрощающих соединение сложных по форме деталей в сложных пространственных положениях друг относительно друга.

Известна модульная система с разъемным магнитным каркасом, содержащая множество мо-

дульных блоков из немагнитного материала, подлежащих сборке для создания композиций [3]. Недостатком данной модульной системы является однозначное соответствие изображения форме модульных блоков. Это сужает возможности формообразования.

Также известно магнитное игровое устройство, содержащее вращающийся несущий каркас, образованный стержневым элементом, и установленные на нем с возможностью скольжения магнитные кольца [4]. Недостатком данного устройства является невозможность изменения формы каркаса, однозначное соответствие изображения форме стержневых элементов, ограниченность в получении пространственных конфигураций.

Нашей задачей являлось изобрести устройство, позволяющее получать трехмерные фигуры при помощи формообразующих объемных элементов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является устройство для формирования объемного изображения [5]. Устройство содержит образующие изображение объемные элементы, выполненные в виде шнуров, снабженных по меньшей мере одним постоянным магнитом, предназначенным для закрепления указанных элементов на имеющем произвольную форму основании из ферромагнитного материала.

Недостатком данного устройства является невозможность образования объемных фигур вне основания из ферромагнитного материала.

Указанная задача в предлагаемом устройстве решается следующим образом [6].

На рис. 4 представлен общий вид объемного элемента. На рис. 5 представлено осевое сечение участка объемного элемента.

Устройство для формирования объемных фигур содержит образующие форму объемные элементы, каждый из которых снабжен постоянными магнитами 1. Магниты имеют сферическую форму 2 со сквозным отверстием 3 и нанизаны на тросик 4 вперемежку со втулками 5, имеющими на концах вогнутые сферические поверхности 6 и 7. На одном конце тросик имеет механизм натяжения 8.

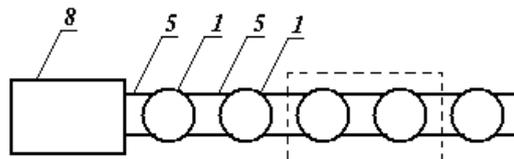


Рис. 4. Общий вид объемного элемента

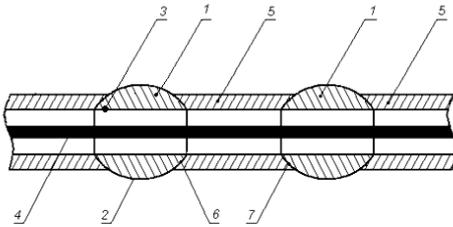


Рис. 5. Осевое сечение участка объёмного элемента

Данное устройство включает магнитные детали и детали с регулируемыми силами фиксации взаимного расположения.

Устройство работает следующим образом. При помощи механизма натяжения 8 натягивают тросик 4, на который нанизаны магниты 1 вперемежку со втулками 5. При этом объёмный элемент принимает определенную пространственную форму, образуя пространственную кривую линию, если пренебречь толщиной объёмного элемента по сравнению с его длиной. Вследствие притяжения магнитов нескольких объёмных элементов, кривые линии этих элементов образуют каркас трёхмерной фигуры.

На полученном каркасе объёмной фигуры за счёт притяжения к магнитам прочно удерживаются детали из конструкционной стали. Соединяя неразрывно (например, сваркой) эти детали между собой, можно получать разнообразные фигуры. В этом случае предлагаемое устройство служит каркасом для сварки. Ослабляя механизм натяжения троса каждого объёмного элемента, их удаляют из образованной фигуры.

Возможности предлагаемого устройства в реализации объёмных фигур определяются минимальным радиусом кривизны объёмного элемента. Этот радиус может быть рассчитан по следующей схеме (рис. 6).

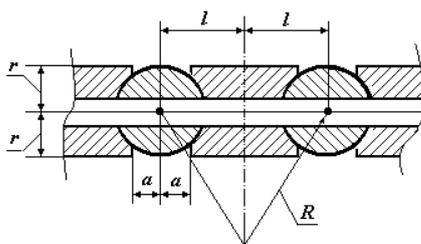


Рис. 6. Расчётная схема

Примеч:

2l – расстояние между центрами двух соседних шаров-магнитов;

2a – расстояние между торцами двух соседних втулок;

2r – диаметр втулки.

Тогда минимальный радиус R кривизны объёмного элемента по его средней линии определяется по формуле:

$$R = \frac{l}{\alpha} \sqrt{r^2 + \alpha^2}$$

Описанное устройство может использоваться не только как базовая поверхность при изготовлении ажурных металлических манекенов или скульптур. Это устройство может быть напрямую использовано при натурном моделировании формы тел. В компьютерном проектировании создаваемые объекты принимают вид «чайника Юта». Они имеют свою эстетику, и находят своё воплощение в объектах экстерьера (рис.7). Моделирование объектов в таком стиле может быть осуществлено в натуре с помощью предлагаемого устройства быстрее и более художественно выразительно.



Рис. 7. Скульптура «Конь»

Устройства, сочетающие в себе магнитные детали и детали с регулируемыми силами фиксации взаимного расположения, наиболее перспективны применительно к монтажу ажурных металлических конструкций со сложной взаимной ориентацией соединяемых деталей. Наряду с тем, что устройство является вспомогательным оборудованием при сварке, оно также может служить 3D моделью при конструировании объектов сложной формы.

Список литературы

1. http://www.k97.ru/engine/glossary/mechanicheskie_zajimnye_prisposobleniya.html

2. http://www.k97.ru/engine/glossary/magnitnye_ugolniki.html

3. Пат.2367493 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Конструкционная модульная система с разъемным модульным каркасом / Клаудио Вичентелли; опубл. 10.06.2009.

4. Пат.2053829 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Магнитное игровое устройство / А.А. Лазарь; опубл. 10.02.1996.

5. Пат.2241259 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмного изображения / М.Г. Давыдов; опубл. 10.10.2004.

6. Пат.111011 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербина, М.С. Кухта; опубл. 10.12.2011.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТОРОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Ямилева А.М.

Научный руководитель: Газизов Р.К., д.ф.-м.н., профессор
Уфимский государственный авиационный технический университет,
450000, Россия, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12
E-mail: a.yamileva@gmail.ru

Введение

Линейная сварка трением – это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным возвратно-поступательным движением друг относительно друга соединяемых частей свариваемого изделия. Технология сварки трением известна давно и используется в различных отраслях машиностроительного производства более 70 лет. Однако только в последние годы в связи с появлением новых типов универсального и специализированного технологического оборудования с системами программного управления процессом сварки она начинает широко применяться в основном производстве газотурбинных двигателей.

Выделяют четыре стадии (фазы) процесса ЛСТ [2]. На начальной стадии свариваемые изделия приводятся в контакт под давлением и начинается их относительное движение, сопровождаемое износом шероховатостей. В переходной стадии происходит нагрев и упругое деформирование изделий. При достижении предела текучести наступает равновесная стадия, характеризующаяся осевым укорачиванием вследствие вытеснения пластичного материала из зоны контакта, образуется грат (флеш). На завершающей стадии механическое движение завершается и к образцам прикладывается дополнительное давление (проковка) для образования сварного соединения.

При моделировании процесса ЛСТ необходимо учитывать следующие особенности:

- Быстротечность процесса – весь процесс линейной сварки трением составляет около 2 сек, в ходе которого возникают большие градиенты температур и напряжений. Высокая скорость процесса – частота колебаний брусков составляет порядка 50 Гц при амплитуде колебаний порядка 2 мм. Для сходимости расчетных методов требуется выбрать шаг по времени порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ сек.

- Ограниченное количество симметрий модели. Прямоугольные образцы имеют только зеркальную симметрию в плоскости движения, что позволяет уменьшить количество элементов, участвующих в расчете, только вдвое. Для моделирования процесса ЛСТ требуются большие вычислительные ресурсы, в том числе возможность проведения параллельных вычислений на многопроцессорных системах. В данной работе была построена трехмерная модель второй стадии процесса ЛСТ в пакете ANSYS Mechanical. Расчеты проводились на суперкомпьютере УГАТУ.

1. Постановка задачи

В работе исследуются термоупругие деформации прямоугольных образцов размером 26мм×5мм×13мм. Геометрическая модель состоит из двух одинаковых брусков, стоящих один на другом. Учитывается зеркальная симметрия относительно вертикальной плоскости, параллельной направлению движения.

Верхний образец скользит по поверхности нижнего образца вдоль длинной стороны, нижний образец неподвижен. Закон трения рассматривается в форме Амонтона-Кулона, коэффициент трения задан в виде линейной функции от температуры:

$$\lambda(T) = 0,3 + 5 \cdot 10^{-4}(T - 293).$$

Для расчета используется 3D 20-ти узловый структурно-тепловой тип элемента SOLID 226 [2]. Рассматривается изотропный упругий материал. В модели материала используются параметры сплава ВТ6 [3].

Построена правильная прямоугольная сетка 48×18×16 элементов, неравномерная вдоль некоторых направлений (Рис. 1). Модель содержит 32640 элементов, включая контактные.

Нижний брусок фиксируется своей нижней гранью. На верхняя грань верхнего бруска задано движение по периодическому закону $x = a \cdot \sin(2\pi f t)$ с амплитудой $a = 2$ мм, частотой $f = 50$ Гц. На верхнюю грань верхнего образца задано постоянное давление 100 МПа. Начальная температура 293 К.

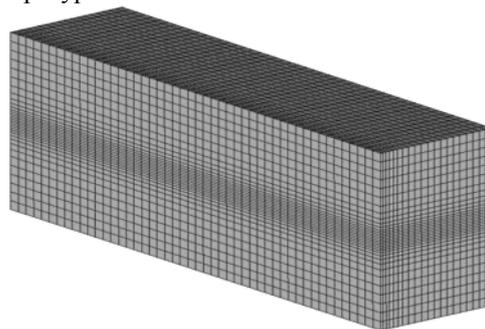


Рис. 1. Конечноэлементная сетка

2. Результаты моделирования

Нами были получены поля температур и напряжений (Рис. 2). Наблюдается сильно нелинейная зависимость температуры от координаты как в горизонтальной плоскости, так и по вертикали. Максимум температуры приходится точки контактной плоскости, находящиеся приблизительно в 2-3 мм от боковых граней.

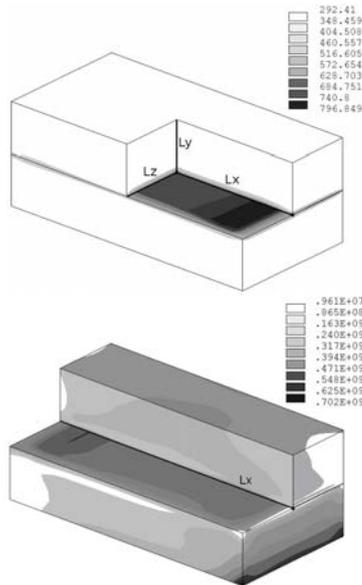


Рис. 2. Полученные поля температур (вверху) и напряжений (внизу) в момент времени 0,03 сек

Были рассмотрены распределения температуры и напряжений вдоль контрольных линий, показанных на рисунке 2. Перепад температуры в области контакта через 0,03 сек. достигает величины порядка 300 К (Рис. 3). Вследствие такой неравномерности нагрева контакта течение материала начнется в небольших локальных областях. За время 0,03 сек. прогревается небольшой слой материала – около 1 мм.

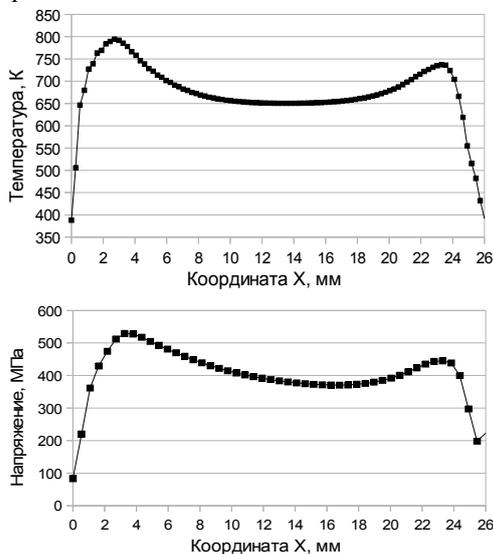


Рис. 3. Распределение температуры (вверху) и напряжений (внизу) вдоль линии Lx в момент времени 0,03 сек

Максимальное напряжение возникает в плоскости контакта как результат теплового расширения материала. Во внутренней области контакта напряжения постоянны, но вдоль границ их величина резко уменьшается, как и значение температуры (Рис. 3). Следовательно, в моделируемом процессе определяющим фактором является тем-

пература. Поэтому предел текучести впервые достигается в точке максимального нагрева.

Был определен момент времени появления пластических деформаций, т.е. достижения напряжениями предела текучести материала. На рисунке 4 показаны кривая предела текучести, взятая из библиотеки материалов инженерного пакета Deform 3D (линия А), и полученная при моделировании зависимость напряжения от температуры в точке максимального нагрева, где и начинается течение (линия Б). Зависимости на графике отображаются в параметрическом виде, в качестве параметра выступает время.

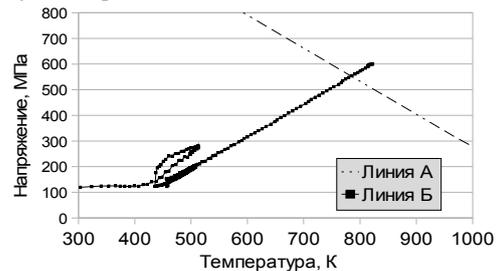


Рис. 4. Зависимость напряжения от температуры: линия А – предел текучести, определенный экспериментально, линия Б – напряжения, полученные в ходе моделирования

Предел текучести достигается в точке контакта верхнего образца, расположенной на расстоянии 3,25 мм вдоль оси Lx и 1,95 мм вдоль оси Lz от граней образца для температуры 815 К через 0,023 сек. после начала осцилляций.

Заключение.

В данной работе был смоделирован второй этап ЛСТ в инженерном пакете ANSYS Mechanical. Модель учитывает ряд важных факторов таких, как зависимость параметров материала, в том числе коэффициента трения, от температуры. В результате работы были получены и проанализированы температурные поля и поля напряжений, а также определен момент времени появления пластических деформаций.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений» (шифр 2010-218-01-133) в рамках реализации постановления № 218 от 9.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Список литературы:

1. A.Vairis, M.Frost. On the extrusion stage of linear friction welding of Ti6Al4V. Material Science and Engineering. A 271, (1999), pp 477—484.
2. Basic Analysis Guide // Release 13.0, ANSYS Inc. November 2010,
3. ГОСТ 19807-91: Титановый сплав ВТ6

СЕКЦИЯ 4

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВОЗДУШНОЙ ЗАСЛОНКИ

Белякин В.В., Трусов Е.В.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор

ОАО «НПЦ «Полюс», г. Томск, пр. Кирова 56 в.

E-mail: Belyakin@sibmail.com

Вентиляционные установки - важнейших элемент в системах жизнеобеспечения автономных объектов и наиболее распространенный вид судового оборудования. Количество воздуха в вентиляционных установках регулируется с помощью заслонок.

Исходя из требования проектировщиков корабельных систем вентиляции по переводу воздушных заслонок с гидравлического привода на электрический, разработка и создание шагового двигателя для привода воздушной заслонки является перспективной задачей.

В последние годы появилось много новых устройств числового программного управления дискретного действия с применением шаговых (импульсных) двигателей (ШД). Это объясняется тем, что указанные двигатели позволяют преобразовать управляющий импульс в фрикционный угол поворота вала или фиксированное линейное перемещение без датчика обратной связи. Последнее обстоятельство существенно упрощает систему управления воздушной заслонкой и увеличивает ее надежность, так как сокращает количество электронных элементов.

Свободные колебания ротора в процессе отработки шагов крайне нежелательными и могут при определенных условиях привести к сбоям в работе шагового двигателя. Электромагнитная связь между статором и ротором не является жесткой, и электродвигатель представляет собой колебательную систему с малым затуханием. Электродвигатель склонен к колебаниям особенно при работе с малой нагрузкой, близкой к холостому ходу, что имеет место при движении заслонки из положения «открыто». Колебания ротора могут проявляться в виде низкочастотных вибраций корпуса и сопряженных с ним конструктивных элементов, поэтому полезно принять меры для их ограничения. Демпфирование свободных колебаний ротора может осуществляться нагрузкой типа сухого и вязкого трения, обгонными фиксаторами, электромагнитными тормозами или за счет внутренних свойств самого ШД. В зависимости от этого различают следующие виды демпфирующих устройств: пружинно-фрикционные (рис. 1), магнитно-фрикционные (рис.2) и вязкостно-сцепленные, или VCID (рис. 3). [1]

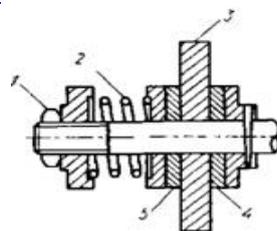


Рис. 1. Пружинно-фрикционный инерционный демпфер: 1 – контргайка; 2 – пружина; 3 – инерционный диск; 4 – неподвижная фрикционная шайба; 5 – подвижная фрикционная шайба

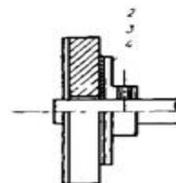


Рис. 2. Магнитно-фрикционный инерционный демпфер: 1 – магнитопровод из магнитного материала; 2 – свободно вращающийся магнитный диск; 3 – фрикционная шайба; 4 – неподвижный диск из магнито-мягкого материала

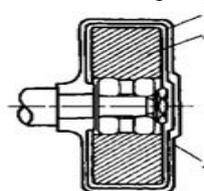


Рис. 3. Инерционный демпфер на вязком трении: 1 – вязкая смазка; 2 – свободно вращающийся инерционный диск; 3 – коробка

Пружинно-фрикционное демпфирующее устройство состоит из инерционного колеса, которое свободно вращается на валу и монтируется между двумя фрикционными прокладками, одна из которых зафиксирована на валу. Давление между диском и прокладкой поддерживается с помощью пружины, которая регулируется так, чтобы получить оптимальное демпфирование. Магнитное демпфирующее устройство состоит из свободно вращающегося дискового ферритового постоянного магнита и стального диска, прикрепленного непосредственно к ротору. Между двумя дисками монтируется фрикционная прокладка, и на магните для прохождения магнитного потока устанавливается магнитопровод. Давление обеспечивается магнитной притягивающей силой между дисками и фрикционной прокладкой. Устройство VCID состоит из инерционного диска внутри цилиндрической коробки. Они могут свободно вращаться относительно друг друга, но пространство между

ними мало и заполнено жидкостью, содержащей кремний, так, что относительное движение ведет к возникновению тормозящей силы на каждом из них. При работе ШД внешняя коробка крепится непосредственно к валу ротора.

Предположим, что ротор поворачивается и колеблется. Если инерционный диск обладает большим моментом инерции, то он имеет тенденцию вращаться с постоянной частотой. В результате этого между ним и колеблющимся ротором появляется разность частот, которая препятствует вязкому или фрикционному трению и устраняет колебания. По этой причине, чем выше момент инерции свободного диска, тем лучше демпфирование. С другой стороны, большой инерционный диск может снизить приемистость и эффективность системы. Таким образом, важной проблемой становится оптимизация демпфирующего устройства.

Дополнительные демпфирующие устройства при определенных условиях значительно влияют на работу ШД, а их использование ведёт к усложнению, удорожанию и снижению надежности системы.

Исходя из выше сказанного, следует, что целесообразно амплитуду колебаний электродвигателя уменьшать посредством электромагнитного демпфирования. Колебания ротора, происходящие после завершения шага, могут быть ограничены тормозным моментом электромагнитного демпфера, в виде цилиндрической оболочки из электропроводящего материала (медь), расположенной в зазоре и примыкающей к внутренней поверхности статора - рис.4.

Во время движения ротора и перемещения магнитного поля полюсов относительно оболочки в ее теле возникает электрическое поле с напряженностью E , порождающее в оболочке электрические токи. Демпфирующий момент возникает за счет электрических потерь от токов, протекающих вдоль образующей цилиндра.

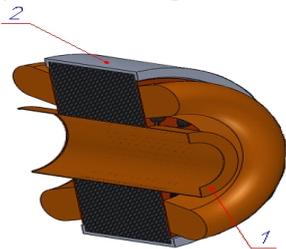


Рис. 4. Расположение демпфирующего стакана: 1 – демпфирующий стакан, 2 – статор шагового двигателя

В нашем случае демпфер представляет собой цилиндрическую оболочку из меди толщиной 0,5 мм и длиной активной части, равной длине пакета

статора. Токи, текущие вдоль образующей цилиндрической части оболочки, замыкаются в ее лобовых частях, выступающих за пределы пакета статора.

Под удельной плотностью тепловой мощности тока w понимается количество энергии, выделяющееся в единице объема проводника в единицу времени, равное произведению удельной проводимости проводника γ на квадрат напряженности электрического поля E в нем:

$$w = \gamma E^2.$$

Выделим в цилиндре небольшой участок, ограниченный малым центральным углом $d\theta$. В связи с малой толщиной оболочки и плоско-параллельным магнитным полем в зазоре можно считать, что напряженность электрического поля зависит только от угловой координаты θ :

$$E = \omega R B_m \sin p\theta,$$

где ω – угловая скорость ротора; R – срединный радиус оболочки; B_m – амплитуда магнитной индукции на поверхности статора; p – число пар полюсов.

Объем элементарного участка оболочки

$$dq = hLRd\theta,$$

где h – толщина оболочки; L – длина цилиндрической части.

Электрические потери в элементарном проводнике равны произведению плотности удельной тепловой мощности на его объем:

$$dp = \gamma h L \omega^2 B_m^2 R^3 \cos^2 p\theta d\theta.$$

Электрические потери под $2p$ полюсами

$$P = 2\gamma p h L \omega^2 B_m^2 R^3 \int_0^{\frac{\pi}{p}} \cos^2 \theta d\theta = \pi \gamma h L \omega^2 B_m^2 R^3$$

Тормозной момент демпфера

$$M_d = \pi \gamma h L \omega B_m^2 R^3.$$

Таким образом, использование демпфирующего стакана для уменьшения свободных колебаний ротора шагового двигателя является весьма полезным. Данная конструкция демпфера существенно минимизирует массогабаритные показатели шагового двигателя, а также ведёт к увеличению надежности системы.

Литература:

1. Ратмиров В.А., Ивоботенко Б. А. Шаговые двигатели для систем автоматического управления, М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962.
2. Korvink J.G. MEMS. A Practical Guide to Design, Analysis and Applications. New York: Springer, 2005.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

Болгов И.С.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: elektrik@sibmail.com

Томское городское унитарное муниципальное предприятие «Трамвайно- Троллейбусное управление» (ТГУ МП «ТТУ») было образовано в 1967 году. Основной задачей предприятия является осуществление пассажирских перевозок в пределах муниципального образования «город Томск». Ежедневно ТГУ МП «ТТУ» перевозит около 89 тыс. чел.

В настоящее время в городе имеется 8 маршрутов, на которых по состоянию на июнь 2011 года эксплуатируется 105 троллейбусов из них: ЗиУ-682 — 24, АКСМ-101 — 8, ЛиАЗ-5280 — 8, ЛиАЗ-52803 — 2, Тролза-5275.05 "Оптима" — 2, Тролза-5275.05М "Оптима" — 13, АКСМ-321 — 48.

Длина всех линий составляет 93,4 км.

Износ парка троллейбусов можно оценить в 75 % (до поступления 10 троллейбусов ЛиАЗ износ парка оценивался в 90 %).

24 декабря 2001 года на линию вышел троллейбус ЗиУ-682Г № 326, прошедший модификацию в томском троллейбусном депо. Главное новшество — перенесение электрооборудования старого троллейбуса на крышу. Проект модификации был подготовлен в Санкт-Петербурге[1]

Самые старые троллейбусы марки ЗиУ-682Г находятся в эксплуатации с 1994 г. Типичные виды отказов:

- Пропадает набор;
- Выходит из строя тяговый двигатель;
- Выходит из строя двигатель компрессора;
- Выходит из строя электротормоз;
- Выходит из строя генератор.

Причины отказов:

- Сгорели блокировочные контакты;
- Сгорел неподвижный контакт на ЛК;
- Сгорели неподвижные или подвижные кулачки;
- Своевременно не поменянные щетки;

Троллейбусы марки ЛиАЗ-5280 были введены в эксплуатацию в 2007 г. основные типичные виды отказов:

- Горят контакторы печки;
- Зимой промерзают трубки компрессора;
- Зимой промерзают гидравлические трубки открывания дверей.

Троллейбусы марки Тролза-527505М были введены в эксплуатацию в 2008 г.

Данный троллейбус был специально спроектирован для сибирских условий и на данный момент неполадок не выявлено.

Недостаток: высокая стоимость.

Троллейбус марки АКСМ-321 были введены в эксплуатацию в 2010 г. Типичные виды отказов:

- Показывает ток утечки (машина не заводится);
- Выходят из строя герконы токоуловителя;
- Не размагничиваются катушки токоприемников;
- Электроника выдает ошибки;
- Зимой промерзают трубки компрессора;
- Зимой промерзают гидравлические трубки открывания дверей.
- Причины отказов:
- Плохая сборка;
- Плохие силовые контакторы;
- Сильная подверженность влиянию погодных условий.

Произведем расчет надежности троллейбуса АКСМ-321 в летний и зимний период.

АКСМ-321 — белорусский троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, производится с 2001 на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом.

АКСМ-321 — (базовая модель) с транзисторной системой управления на IGBT-модулях и двигателем переменного тока.[3]

В Томске данные троллейбусы закупаются с 2010 г. и на данный момент их количество составляет 48 шт.

Произведем расчеты надежности троллейбусов по методике, изложенной в 3 источнике.

Расчет надежности анализируемого троллейбуса при температуре окружающей среды 20°C и относительной влажности 50-70 %. без учета условий эксплуатации показал, что результирующая вероятность безотказной работы всей системы равна 0,649, что является низкой величиной. Это является следствием высокого значения интенсивности отказа некоторых элементов системы (например, интегральные микросхемы). Для увеличения вероятности безотказной работы рекомендуется, либо заменить эти элементы более надежными, либо зарезервировать их элементами с более большей вероятностью безотказной работы. Но на практике данные рекомендации выполнить не всегда является возможным.

Расчет надежности анализируемого троллейбуса при температуре окружающей среды - 25°C % без учета условий эксплуатации показал,

что результирующая вероятность безотказной работы всей системы равна 0,559, что является низкой величиной. Это является следствием высокого значения интенсивности отказов двигателя компрессора и линейных контакторов в связи с низкой температурой. Для увеличения вероятности безотказной работы рекомендуется, либо утеплять или подогревать двигатель компрессора и улучшать контакторы. Но на практике данные рекомендации выполнить не всегда является возможным.

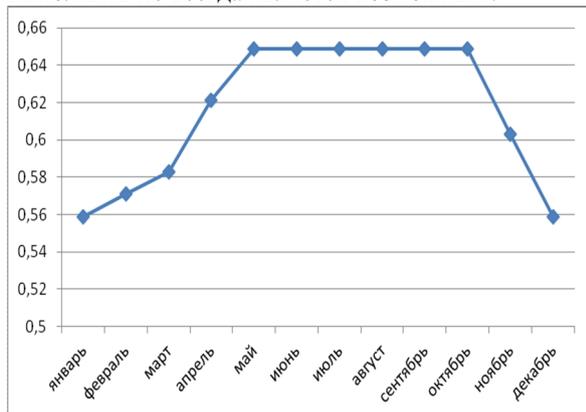


Рисунок-1. Вероятность безотказной работы троллейбуса АКСМ-321 за 2010г.

По данному графику видно что ВБР начинает уменьшаться с ноября, это связано с понижением температуры, повышенной влажностью и вероятностью обледенения, наименьшая ВБР в декабре и январе месяце когда наибольшая вероятность замерзания компрессора и обледенения контакторов, с февраля по мая ВБР постепенно повышается т.к. увеличивается температура окружающей среды, но возникает большая влажность и существует вероятность обледенения.

Проведем Расчет надежности всех троллейбусов ТТУ в зимний и летний период времени.

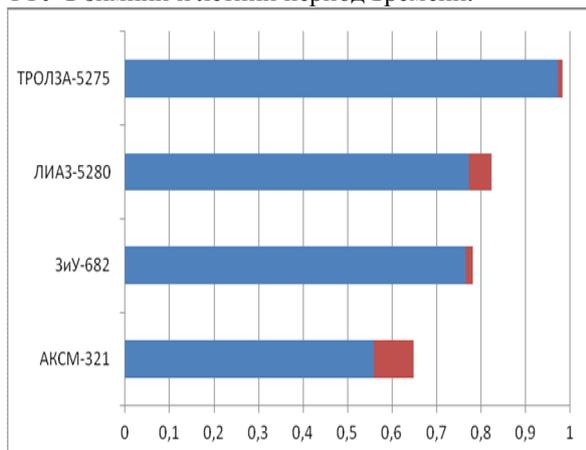


Рисунок-2. Вероятность безотказной работы троллейбусов в летний и зимний период.

Из данной диаграммы видно, что наиболее подвержены изменениям погодных условий троллейбусы АКСМ и ЛИАЗ это связано с тем, что они не рассчитаны на работу в холодных условиях и у них перемерзают трубки компрессора, обледеневают контакторы. Менее подвержены погодным условиям троллейбусы ЗИУ-682 так как эти троллейбусы имеют во всех узлах электрический привод, а компрессор рассчитан на более сильные морозы. Наименьшая зависимость ВБР от погодных условий у троллейбусов ТРОЛЗА-5275М так как этот троллейбус был специально разработан для эксплуатации в условиях Сибири.

Рекомендации для повышения надежности электрооборудования троллейбусов.

Для троллейбусов ЗИУ-682 рекомендуется замена контакторов с медными контактами на серебряные. Для троллейбусов АКСМ и ЛИАЗ рекомендуется устанавливать прогревающие системы на компрессор и установка новых контакторов устойчивых к обледенению.

Список литературы:

1. Сайт ТГУ МП ТТУ www.ttu.tomsk.ru. (дата обращения 17.01.2012)..
2. Кузнецов Н.Л.. Надежность электрических машин: учебное пособие для вузов.- М.: Изд. Дом МЭИ, 2006. - 432 с.
3. Википедия. Троллейбус АКСМ-321// www.ru.wikipedia.org 2012. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/АКСМ-321> (дата обращения 17.01.2012).
4. Колесников С.В. Разработка метода расчета эксплуатационной надежности электродвигателей трамваев, выработавших заданный технический ресурс: автореферат дис. канд. техн. наук.- Казань, 2002. - 19 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА

Валева О.Р.

Научный руководитель: Сипайлова Н.Ю., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: 13ways@sibmail.com

В различных производственных установках для сокращения непродуктивного рабочего времени, повышения точности технологических операций или безопасности рабочего места требуется немедленная остановка приводного электродвигателя после его отключения от питающей сети.

Современным приводом быстрого останова являются устройства, в которых электродвигатель и тормоз выполняются в виде единой конструкции. Наибольшее распространение благодаря простоте конструкции и своим массогабаритным показателям получили двигатели с пристроенным электромагнитным тормозом. В настоящее время применяются в основном нормально замкнутые тормозные устройства – при отключении электродвигателя от сети питания их фрикционные тормозные поверхности замыкаются и препятствуют вращению вала, а при включении – размыкаются под действием электромагнита. Для подключения обмотки электромагнитного тормозного источника к источнику питания и формирования заданного закона изменения подводимого к ней напряжения используются различные схемы управления [1].

Само электромагнитное тормозное устройство состоит из тормозного диска, электромагнита, выполненного также в виде диска, в пазу сердечника которого, находится обмотка, и пружин, создающих тормозной момент.

Обычно быстродействие тормоза достигается с помощью выбора подходящей схемы управления, а также при помощи оптимизационных расчетов самого тормозного устройства.

При оптимизационном расчете электромагнитного тормозного устройства необходимо решить следующие задачи:

- выбрать наиболее целесообразную конструкцию тормоза и принципиальную схему управления;
- определить оптимальный вариант основных размеров и обмоточных данных электромагнитного тормозного устройства, а также номинальные значения элементов схемы управления; рабочие размеры фрикционных поверхностей [2].

Критерий оптимальности выбирается с учетом эксплуатационных требований к тормозному устройству. Для тормозов общепромышленных электродвигателей в качестве функции цели целесообразно выбрать технико-экономический критерий. В том случае, если к электромагнитному тормозному устройству предъявляются повышенные требования по каким-нибудь конкретным показателям, то их и следует выбирать в качестве функции цели, например, для подвижных

объектов — минимальные массогабаритные показатели, для систем автоматического управления — параметры быстродействия и т.п. В подавляющем большинстве случаев поиск оптимального варианта тормоза осуществляется в локальной области, ограниченной требованиями к габаритным размерам тормозного электродвигателя, так как диаметральный размер самого тормозного устройства ограничен диаметральными размерами электродвигателя, а осевая длина тормозного устройства определяет габаритную длину электродвигателя.

При выборе метода поиска оптимального варианта, обеспечивающего изменение независимых параметров в направлении улучшения значения функции цели, принимают во внимание, что, так как решается технико-экономическая задача, связанная нелинейными зависимостями с переменными параметрами, то целесообразно применять численные методы. Среди них выделяются следующие методы: метод направленного поиска и метод перебора. Метод направленного поиска в сущности является методом обхода узловых точек n -мерного пространства, где n – число независимых переменных. Он заключается в следующем. Область изменения по каждой из независимых переменных разбивается на определенное число шагов u , таким образом, все пространство независимых переменных разграничивается n -мерной решеткой. Расчет проводится для всех узловых точек этой решетки путем изменения независимых переменных с выбранным шагом. Сущность метода перебора заключается в следующем: в интервале находится искомое значение физической величины – число. Перебираются каким-либо образом числа из интервала и в каждом случае подставляются в выражения, определяющие некоторые параметры. Метод перебора достаточно прост и не требует создания сложных алгоритмов. Его алгоритм представлен на рисунке 1.

При расчете оптимального варианта сначала определяются исходные данные для расчета. К ним можно отнести параметры самого двигателя и его геометрические размеры. Затем выполняется предварительный расчет электромагнитного тормоза по методике предварительного расчета и расчет пружин. Итогом этого расчета являются приближительные геометрические размеры тормозного диска, параметры катушки. Полученные при этом данные используются в качестве исходного варианта. Данный этап расчета целесообразно выполнять в режиме диалога «человек-машина», выполнив при этом расчет для нескольких значений независимых переменных.

Это позволит более точно определить исходный вариант электромагнитного тормозного устройства и диапазон изменения независимых переменных.

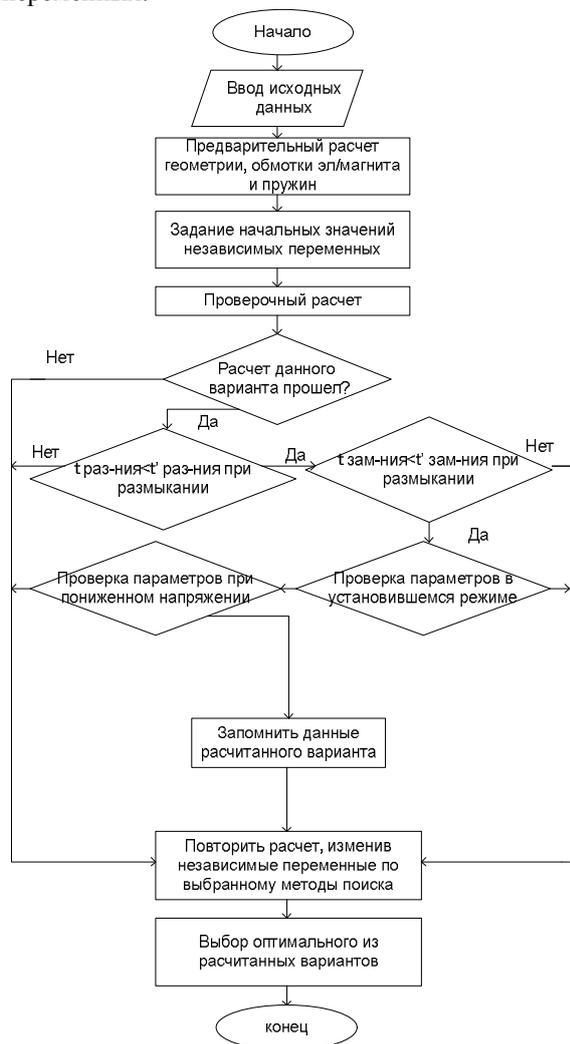


Рисунок 1. Схема алгоритма расчета электромагнитного тормозного устройства

После этого выполняется проверочный расчет, проверяются значения ограничителей. Сам же поиск оптимального варианта осуществляется поэтапным перебором всех значений независимых переменных.

Но все же основу поискового расчета составляет методика предварительного расчёта растормаживающего электромагнита. Здесь необходимо учитывать габаритные размеры двигателя, для которого проектируется электромагнитное тормозное устройство, (например, внешний диаметр тормоза, напрямую зависящей от диаметра подшипникового щита); максимальный воздушный зазор между якорем и магнитопроводом при разомкнутом состоянии; тормозное усилие пружин, достаточное для создания тормозного момента и т.д. Помимо этого при предварительном расчете необходимо

руководствоваться следующими требованиями: конструкция и размеры тормозного устройства должны быть такие, чтобы обеспечивалась возможность его пристраивания к серийному электродвигателю базового исполнения при минимальной доработке последнего. Обычно такая доработка сводится к выполнению на подшипниковом щите двигателя посадочного места и элементов крепления для установки тормозного устройства, удлинению вала со стороны вентилятора (например, посредством промежуточной втулки) для крепления вращающейся части тормозного устройства, а также увеличению длины кожуха вентилятора [3]. Таким образом, проектирование электромагнитного тормозного устройства имеет ряд особенностей в связи с конструктивными ограничениями как его внешнего, так и внутреннего диаметра. Как было сказано выше, внешний диаметр определяется диаметром подшипникового щита, а внутренний — условиями компоновки самого тормозного узла. Фактически такое ограничение означает, что при проектировании могут варьироваться только высота паза и размеры, определяющие ширину паза и площадь полюсов. При этом на них накладываются определенные ограничения: максимальная высота ограничивается возможностью размещения электромагнитного тормозного устройства в зоне вентиляционного узла электродвигателя, а диаметры должны обеспечить площадь полюса с оптимальным уровнем насыщения, а также оптимальные условия изготовления и размещения обмотки. Однако соблюдение данных условий еще при предварительном расчете позволяет получить вариант электромагнитного тормозного устройства, требующий минимальных дальнейших доработок и корректировок.

Список литературы:

1. Валева О.Р. «Тормозные устройства асинхронных электродвигателей». Сборник трудов победителей. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011 – Т. 1 - С. 416-417 – 1.
2. Соленков В.В. Разработка и исследование асинхронных двигателей с электромеханическими тормозными устройствами постоянного тока: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Томск: Томский Политехнический Институт, 1981. – 233 с.
3. Бочкарев И.В. Быстродействующие электромеханические тормозные устройства для электродвигателей – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 240 с.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ

Воронина Н.А.

Научный руководитель: Аристов А.В., д.т.н., профессор
 Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: VoroninaNataly@vtomske.ru

Основная тенденция развития современного промышленного электропривода направлена на решение следующих проблем: слияние электродвигателя с рабочими органами машины; вытеснение механических звеньев и кинематических связей электрическими.

С развитием техники расширяется ряд технологических процессов, использующих устройства, рабочий орган которых совершает периодическое движение. Усложняются требования к параметрам движения, поскольку введение дополнительных требований к параметрам и форме движения рабочего инструмента позволяет снижать его износ, увеличивать производительность труда, экономить энергию.

Периодические законы движения используются в таких отраслях, как машиностроение, строительство, аграрная, горная, химическая и текстильная промышленность, испытательная техника, техника измерения, контроля и управления. Одним из видов периодического движения является прерывистый режим [1].

Принцип работы асинхронного электропривода прерывистого движения заключается в создании шагового изменения электромагнитного поля, определяющего закон перемещения подвижного элемента двигателя. Это может быть достигнуто за счет прерывания питания одной из обмоток исполнительного двигателя в момент времени, когда электромагнитный момент переходит через ноль и прикладывается в одном и том же направлении [2,3].

Для того чтобы оценить влияние параметров источников питания на выходные характеристики исследуемого электропривода, использовался прикладной программный пакет Matlab/Simulink. Была разработана имитационная модель асинхронного электропривода с шаговым законом движения, представленная на рис. 1. При моделировании использовался асинхронный двигатель АИР 71А2 мощностью 750 кВт с частотой вращения 2810 об/мин.

Согласно [2] прерывистый закон движения формируется путем запитывания обмоток двигателя напряжениями разных частот ω_1 и ω_2 от двух независимых задающих генераторов U_{sa} и U_{sb} , с прерыванием по частоте шага, в момент времени, когда электромагнитный момент переходит через ноль и прикладывается в одном и том же направлении (рис. 1). Для исследования электропривода с прерывистым движением необходимо определить закон движения

подвижного элемента двигателя при токовом и потенциальном питании.

Для асинхронного двигателя при шаговом режиме работы, за счет фазовой модуляции питающих напряжений функции регулирования имеют вид:

$$U_{\alpha s}(t) = U_m \gamma_1 \sin(\omega_1 t + \delta) A(t); \quad U_{\alpha r}(t) = 0;$$

$$U_{\beta s}(t) = U_m \gamma_2 \sin(\omega_2 t + \nu); \quad U_{\beta r}(t) = 0,$$

где U_m – амплитудные значения питающих напряжений; коэффициенты сигналов $\gamma_i = \frac{U_{mi}}{U_m}$;

$i = 1, 2$; ω_1, ω_2 – угловые частоты питающих напряжений; δ, ν – начальные фазы напряжений на обмотках; $A(t)$ – импульсная функция,

$$\text{определяемая как: } A(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left(\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin(2i-1)\Omega t}{(2i-1)} \right);$$

$\Omega = \omega_1 - \omega_2$ – круговая частота шага.

Регулирование величины шага осуществлялось при заданных параметрах нагрузки за счет плавного изменения частоты питающего напряжения U_{sb} , а также за счет регулирования фазного напряжения по амплитуде.

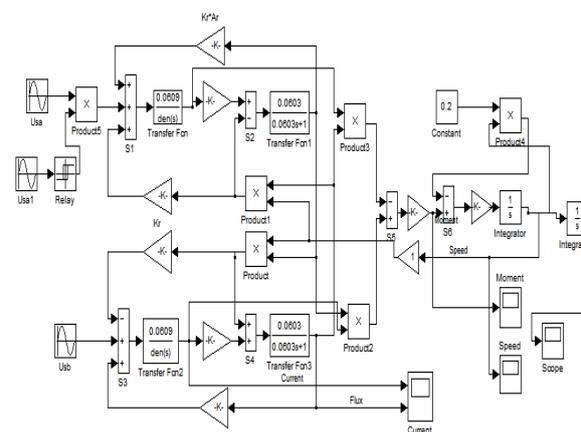


Рис. 1 Модель асинхронного электропривода с шаговым законом движения

На рис. 2 представлены выходные характеристики электропривода с шаговым законом движения при запуске на частоту $f = \frac{\Omega}{2\pi} = 2$ Гц; момента инерции $J = 2,1 \cdot 10^{-3}$ кг·м²; и коэффициента демпфирования $R_{\text{мех}} = 0,2$ Н·м·с/рад.

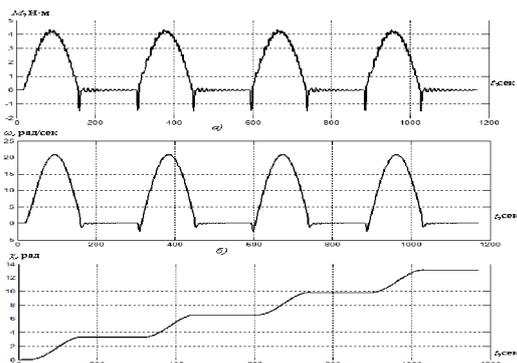


Рис.2 Выходные характеристики электропривода с шаговым законом движения:

а) M – электромагнитный момент; б) ω – скорость; в) χ – координата подвижного элемента электропривода

С целью оценки чувствительности электропривода к параметрам источника питания были сняты регулировочные и амплитудно-частотные характеристики. Представлены результаты моделирования электропривода с шаговым законом движения при изменении амплитуды напряжения источников питания. Исследования проводились при пропорциональном регулировании напряжения по двум обмоткам исполнительного двигателя $U_{sa} = U_{sb} = \text{var}$ (рис. 3), а также при регулировании напряжения по одной обмотке исполнительного двигателя $U_{sa} = \text{const}, U_{sb} = \text{var}$ (рис. 4).

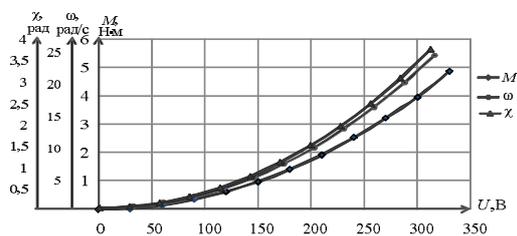


Рис. 3 Регулировочные характеристики электропривода с шаговым законом движения при $U_{sa} = U_{sb} = \text{var}$, где M – электромагнитный момент; ω – скорость; χ – координата подвижного элемента электропривода

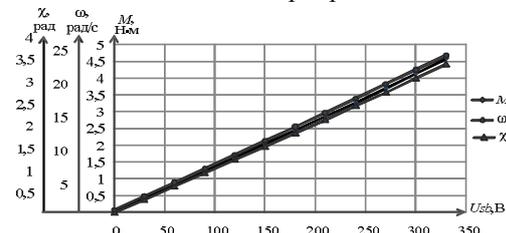


Рис. 4 Регулировочные характеристики электропривода с шаговым законом движения при $U_{sa} = \text{const}, U_{sb} = \text{var}$

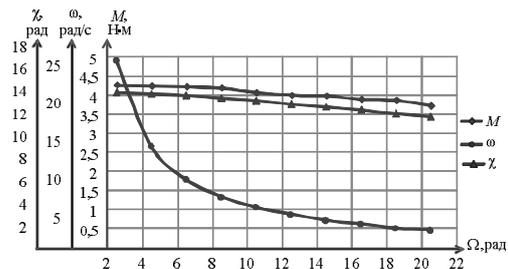


Рис. 5 Зависимость электромагнитного момента, скорости и координаты подвижного элемента электропривода от частоты шага

Представленные характеристики (рис. 3 – 4) иллюстрируют пропорциональность регулировочной величины шага и момента при изменении фазного напряжения, например, по одной из обмоток двигателя. С уменьшением питающего напряжения снижаются показатели электропривода: скорость и шаг выходной координаты. При увеличении частоты Ω , уменьшается скорость, электромагнитный момент и амплитуда координаты подвижного элемента. Наиболее критичен режим прерывистого движения к изменениям начальной фазы одного из питающих фазных напряжений. Это вызвано несовпадением начальной фазы шаговой составляющей электромагнитного момента с моментом времени формирования импульсной функции $A(t)$. В результате в кривой движения в течение шага $t_{ш}$ наблюдаются провалы по амплитуде, вплоть до статической потери шага. Однако последнее, может быть компенсировано за счет введения обратной связи по скорости ω .

Список используемой литературы:

1. Грачев С.А., Луковников В.И. Безредукторный электромашинный привод периодического движения. – Мн.: Высш. шк., 1991. – 160с.
2. Патент на полезную модель №88874, МПК Н02Р 7/00. Устройство для управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме прерывистого движения / Аристов А.В., Воронина Н.А. Заявка 2009125766/22, 06.07.2009. Опубликовано 20.11.2009, Бюл. №32.
3. Аристов А. В. Электропривод колебательного движения в режиме прерывистого перемещения // Известия ТПУ. – 2008г. – Т. 313, №4. – С. 107 – 109

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Высоцкий С.Э.

Научный руководитель: Цукублин А.Б., к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: S.Vysotski@mail.ru

В сетях уличного освещения для предупреждения возникновения аварийных ситуаций и предотвращения распространения аварии по оборудованию необходимо контролировать целостность линий: отсутствие обрыва одной или нескольких фаз, коротких замыканий и стороннего напряжения.

Самыми распространенными причинами возникновения аварий являются неблагоприятные погодные условия, естественный износ линии электропередач, а так же хищение оборудования. Особенно опасны аварии при включении на короткое замыкание.

Следствием подобных ситуаций является повреждение или отключение оборудования, расходы на его ремонт и нарушение надлежащей работы наружного освещения города.

В действующих сетях уличного освещения города Томска применяется система контроля линий наружного освещения, позволяющая осуществлять диагностику линии на предмет обрыва одной или нескольких фаз и коротких замыканий в отключенном состоянии.

Схема работы системы контроля (рис. 1) следующая: контроллер линии КЛ питается от трансформатора TV.

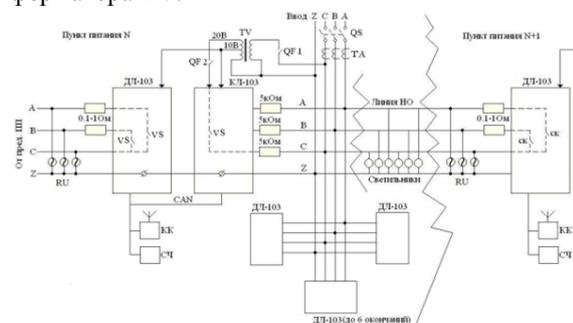


Рис. 1. Функциональная схема подключения оборудования контроля линий наружного освещения: ДЛ-103 – Датчик линии; КЛ-103 – Контроллер линии; RU – Защитные варисторы; VS – Симисторный ключ; TV – Трансформатор 220>20, 10В; 10В – Питание КЛ, ДЛ; 20В – Напряжение тестирования линий; CAN – Шина передачи данных; QF1 – Автомат 16А; QF2 – Автомат 24-32А; QS – Выходной рубильник; ТА – Токковые трансформаторы; КК – Коммуникационный контроллер УстиМ-5GSM; СЧ – Счетчик электрической энергии с цифровым выходом.

Трансформатор TV имеет на выходе 20 В переменного тока. Контроллер преобразует поступающее с трансформатора переменное напряжение и коммутирует на фазу С.

Преобразование производится вырезанием полуволн в определенной последовательности для разных датчиков ДЛ. Исполняющим элементом в схеме формирования сигнала является симистор. Полученный сигнал проходит по фазе С до принимающего датчика. При условии совпадения адреса, зашифрованного в сигнале, с адресом датчика, датчик коммутирует собственный сигнал на фазу А и фазу В поочередно. Контроллер принимает сигнал и, при его верной форме, считает линию целой.

Данная система применяется в г. Томске в течении 8 лет и с ее помощью осуществляется:

- Контроль замыкания линии на землю и межфазных замыканий;
- Контроль обрыва одной или нескольких фаз;
- Контроль наличия стороннего напряжения.

Однако, в ходе эксплуатации данной системы были выявлены следующие слабые места:

- Недостаточная надежность устройства: выход из строя симисторов;
- Невозможность диагностики линии во включенном состоянии.

В данной работе проводится исследование устройства и возможностей совершенствования действующей системы контроля, а так же ее модернизация для удовлетворения требования непрерывного контроля целостности линий электропередач.

В ходе работы была предложена следующая схема функционирования устройства (рис. 2):

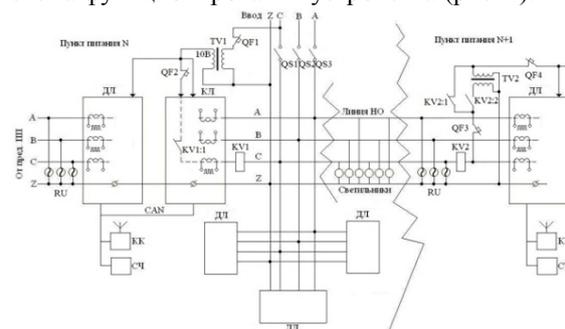


Рис. 2. Разработанная функциональная схема подключения оборудования контроля линий наружного освещения: ДЛ – Датчик линии; КЛ – Контроллер линии; RU – Защитные варисторы; TV1, TV2 – Трансформаторы 220>10В – питание КЛ, ДЛ; CAN – Шина передачи данных; QF1, QF3 – Автоматы 16А; QF2, QF4 – Автоматы 10А; QS1, QS2, QS3 – выключатели; КК – Коммуникационный контроллер УстиМ-5GSM; СЧ – Счетчик электрической энергии с цифровым выходом, KV1, KV2 – Реле напряжения.

В приведенной схеме контроллер линии КЛ питается от трансформатора TV, подключенного до устройства, коммутирующего линию. Контроллер формирует высокочастотный сигнал и, с помощью индукционной развязки (катушки, охватывающей силовой провод), передает его по фазе С. В конце линии расположен датчик ДЛ, который при включенной линии освещения питается через трансформатор от фазы С. В отключенном состоянии питание так же приходит по фазе С, но напряжение трансформируется до 10В в начале линии с помощью трансформатора, который питает контроллер линии. При совпадении сигнала датчик отвечает поочередно по фазам А и В. Контроллер сравнивает ответный сигнал с установленным в нем для конкретного датчика. При совпадении ответов по обоим фазам А и В контроллер выдает сигнал о правильном функционировании линии.

Разработанная схема обладает следующими преимуществами:

- Непрерывный контроль целостности линии;
- Контроль замыкания линии на землю;
- Контроль межфазных замыканий;
- Контроль обрыва одной или нескольких фаз;
- Повышенная надежность за счет непрямого включения аппаратуры (индукционная развязка);
- Возможность селективного включения любой из фаз.

В ходе работы была проведена проверка работы предложенной двухрежимной схемы питания датчика линии, внедрение которой обеспечило бы контроль целостности линии электропередач и в отключенном и во включенном состоянии.

Для проверки предложенной схемы питания была собрана схема (рис. 3), которая реализует два режима питания датчика линии в зависимости от текущего состояния наружного освещения: включено или отключено.

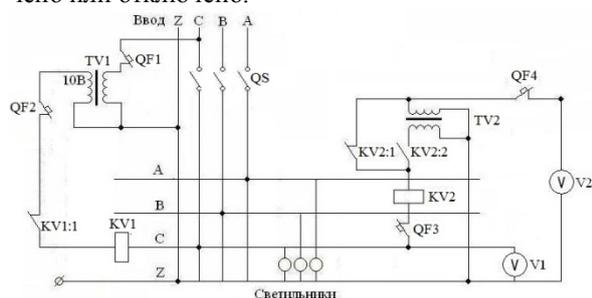


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная питания датчика линии: TV1, TV2 – Трансформаторы 220>10В – питание КЛ, ДЛ; QF1, QF3 – Автоматы 16А; QF2, QF4 – Автоматы 10А; QS – вводной рубильник; KV1, KV2 – Реле напряжения.

При отключенном освещении или включенном в дежурном режиме (питание только по фазе А), то есть когда отсутствует напряжение питания светильников на фазе С, датчик линии питается от трансформатора TV1, который так же питает контроллер линии. Трансформатор TV1 подключен к вводному кабелю до коммутирующего линию освещения устройства. Со вторичной обмотки трансформатора через автомат защиты QF2 и блок-контакт реле напряжения KV1:1 напряжение подается на фазу С. Преобразованного трансформатором TV1 напряжения недостаточно для розжига ламп уличного освещения, но хватает для питания датчика линии.

При включенном освещении (присутствует напряжение питания на фазе С) блок-контакт реле напряжения KV1:1 размыкается, срабатывает реле KV2, которому до этого не хватало напряжения для притягивания якоря. При срабатывании реле KV2 размыкает контакт KV2:1 и замыкает KV2:2, тем самым вводя в работу трансформатор TV2, который через защитный автомат QF4 питает датчик линии. В случае изменения состояния наружного освещения операции происходят в обратном порядке, то есть: отключается реле KV2, размыкает контакт KV2:2 и замыкает KV2:1, тем самым шунтируя трансформатор TV2, в это же время замыкается блок-контакт KV1:1, подавая питание на датчик линии с трансформатора TV1.

В ходе проведенного эксперимента по обеспечению двухрежимного питания датчика линии была выявлена особенность схемы, снижающая ее надежность. Собранная схема обеспечивала необходимое питание, однако в ряде случаев при переходе на питание от трансформатора TV1 реле KV2 не успевает отпустить якорь, т.к. для его удержания требуется значительно меньшее напряжение, чем для срабатывания. В этом случае на датчик линии не поступает достаточного для его питания напряжения, так как питание с трансформатора TV1 поступает на датчик линии через трансформатор TV2.

Выявленный в ходе эксперимента недостаток схемы можно устранить путем установления выдержки времени на замыкание блок-контакта KV1:1, или более высокой уставки по напряжению на отключение реле KV2. То есть необходимо добиться более быстрого отпускания KV2.

В дальнейшем планируется разработка специализированного модема для работы в сетях наружного освещения, так как ввиду наличия в этих сетях больших реактивных емкостей в каждом светильнике, больших помех от импульсных запускающих устройств и общего плохого состояния сетей наружного освещения стандартные PLM-модемы не обеспечивают надёжной связи.

ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МНОГОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Глухов Д.М., Любимцев А.С., Воронков И.С.

Научный руководитель: Глухов Д.М., к.т.н.

ООО «Промышленное и гражданское строительство». Россия, г. Воронеж

E-mail: mitbor@rambler.ru

В современных условиях автоматизацию большинства технологических процессов невозможно осуществить без использования регулируемого электропривода (РЭП). Сегодня всё большее применение в системах РЭП находят асинхронные двигатели (АД). В отдельных случаях от приводного двигателя требуется повышенная эксплуатационная надёжность и работа в жёстких динамических режимах РЭП, которые может обеспечить многофазный асинхронный двигатель (МАД) [1]. Кроме того, МАД позволяет обеспечить плавную работу в широком диапазоне скоростей вращения при значительной несинусоидальности питающего напряжения.

Цель работы: разработка структурной схемы программно-вычислительного комплекса для проектирования многофазных асинхронных двигателей повышенной энергоэффективности.

Одной из проблем, возникающих при проектировании АД на основе аналитических расчётов, является тот факт, что выражения для определения параметров электрической машины не могут отражать реальной картины распределения магнитного поля по сечению магнитопровода. Отсюда возникают неточности в расчётах рабочих характеристик двигателей. Решением может являться моделирование магнитных полей в магнитопроводе АД при помощи удобной и эффективной программы конечно-элементного анализа и расчёта полей ELCUT версии 5.9 от ООО «ГОР» из Санкт-Петербурга [2], позволяющей учитывать не только нелинейность среды, но также и задавать несинусоидальные источники поля (Рис.1). Последний аспект очень важен именно для моделирования МАД из-за принятой формы питающего напряжения – прямоугольные импульсы [3].

Многофазные АД являются частотно-регулируемыми электрическими машинами, что требует изменений к подходам при их проектировании [4]. Применение многофазного преобразователя частоты с управляющими сигналами прямоугольной формы при числе фаз обмотки статора МАД $m \geq 9$ позволяет достичь достаточной плавности вращения вала двигателя.

При создании электрической машины помимо электромагнитных расчётов проводят также анализ теплового состояния при номинальной нагрузке.

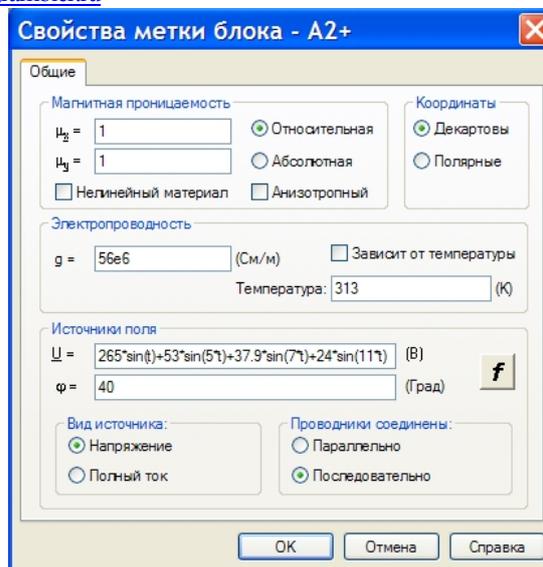


Рис.1. Диалоговое окно задания свойств одной из фаз МАД в пакете ELCUT 5.9

В основу создания комплекса (Рис.2) для проектирования МАД была заложена идея объединения расчётных данных, получаемых при использовании различного программного обеспечения. В нашем случае, для начального и конечного расчётов использовался пакет MathCAD. Моделирование магнитного поля для получения индуктивных параметров МАД с одновременным анализом теплового поля машины выполнялось в среде ELCUT 5.9. В итоге, задавая требуемые параметры и используя получаемые результаты в процессе решения полевых задач при дальнейших расчётах, на выходе мы получаем все необходимые данные МАД с заданными параметрами и характеристиками.

Исходя из постановки задачи – максимальная унификация МАД с выпускаемыми АД общепромышленного назначения – было принято решение при проектировании варьировать обмоточные данные, напряжение питания и число пазов ротора. Число фаз МАД, мощностью $P_{2n}=4,0$ кВт, приняли равным $m=9$. Разные значения напряжения питания объясняются неидеальным преобразованием тока инверторами преобразователя частоты – были приняты два варианта: $U_{1n}=220$ В и $U_{1n}=208$ В. Плотность тока в обмотке статора принималась не выше $J_T=5,5$ А/м² [4].

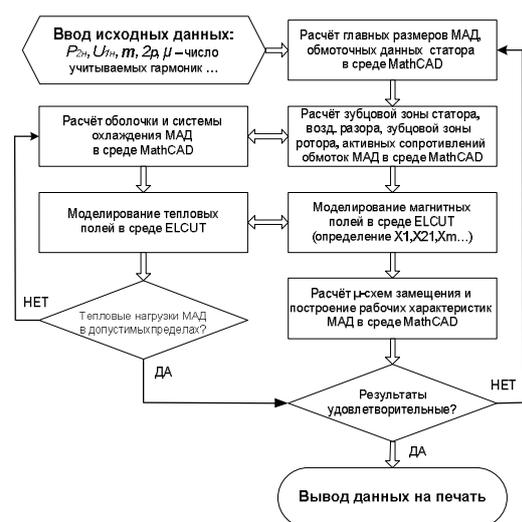


Рис.2 Структурная схема программно-вычислительного комплекса проектирования и расчёта *m*-фазного асинхронного двигателя

Расчёты показателей качества МАД при питании его от источника с прямоугольной формой управляющего сигнала, произведённые на основании предложенной структурной схемы (Табл. 1), наглядно показывают, что интегральный показатель ($\eta \cdot \cos\varphi$) достигает более высоких значений, по сравнению, с базовым трёхфазным АД.

Таблица 1. Результаты расчётов

U1н = 208 В					Базовый АД - $\eta \cdot \cos\varphi = 0,706$
Z2	SH, %	η	$\cos\varphi$	$\eta \cdot \cos\varphi$	
24	4,39	0,861	0,847	0,729	
26	4,34	0,862	0,854	0,736	
28	4,31	0,864	0,859	0,742	
U1н = 220 В					
Z2	SH, %	η	$\cos\varphi$	$\eta \cdot \cos\varphi$	
24	3,98	0,863	0,841	0,726	
26	4,13	0,862	0,845	0,728	
28	3,89	0,866	0,852	0,738	

Более высокие значения энергетических показателей МАД при напряжении $U_{1н}=208В$ объясняются разницей в обмоточных данных и, соответственно, пониженной плотностью тока в обмотке

статора – $J_I=5,259 А/мм^2$. При напряжении $U_{1н}=220 В$ плотность тока в обмотке статора составляет $J_I=5,605 А/мм^2$.

Варьирование числом и геометрическими параметрами пазов сердечника ротора сегодня ограничены технологическими возможностями предприятий, выпускающих асинхронные двигатели, но именно здесь мы видим наличие существенного потенциала многофазных АД в их совершенствовании для РЭП.

Выводы по работе:

1. Для получения наиболее достоверных данных о параметрах и характеристиках электрических машин при их проектировании необходимо использовать инструменты решения полевых задач.
2. Расчёты, выполненные с использованием предложенной структурной схемы программно-вычислительного комплекса, позволяют обрабатывать такой массив данных, из которого выбирается наиболее оптимальный вариант многофазного асинхронного двигателя.
3. Дальнейшее повышение энергетических характеристик многофазных асинхронных двигателей для регулируемого электропривода, проектируемых на базе общепромышленных асинхронных двигателей возможно при изменении геометрии зубцовой зоны ротора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ведяшкин М.В., Глухов Д.М., Муравлёва О.О. Математическое моделирование надёжности многофазного асинхронного электропривода // Известия вузов. Электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 22–25.
2. Руководство пользователя ELCUT – Ст. Петербург – 2011.
3. Глухов Д.М., Ефанов А.М. Многофазные асинхронные двигатели для жилищно-коммунального хозяйства. Современные техника и технологии: Труды XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск. – 12-16 апреля 2010. – Томск: ТПУ. – 2010 – Т. 1. – с. 405 – 407.
4. Беспалов В.Я. Перспективы создания отечественных электродвигателей нового поколения для частотно-регулируемого электропривода. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 3/2006.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА ОТСТАИВАНИЯ

Ермаков И.С.

Научный руководитель: Ляпунов Д.Ю., к.т.н., ассистент
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: Ermakov.Ilia88@mail.ru

В современных нефтеперекачивающих установках широко используется система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) со скалярным управлением, согласно закону $U/f^3 = \text{const}$. При этом необходимо обеспечивать малые амплитуды колебаний электромагнитного момента в период пуска. Для решения данной задачи рассмотрены 2 системы: 1) система скалярного частотного управления с положительной обратной связью по току в канале регулирования напряжения; 2) система скалярного частотного управления с положительной обратной связью по току в канале регулирования частоты.

Структурная схема системы скалярного частотного управления с ИР-компенсацией изображена на рис.1. Параметры схемы замещения были получены по методике, приведенной в [1].

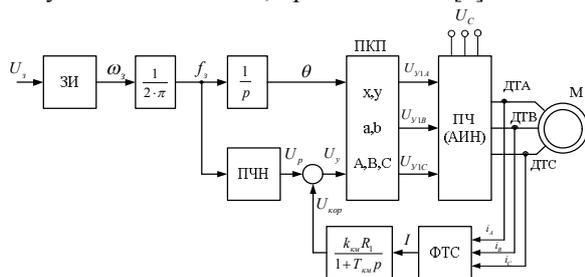


Рис. 1. Структурная схема системы скалярного частотного управления с ИР-компенсацией

Преобразователь частоты представлен апериодическим звеном первого порядка (рис. 2) [1].

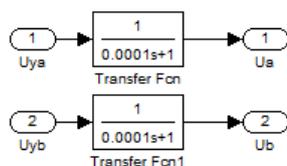


Рис. 2. Имитационная модель преобразователя частоты

Для получения переходных характеристик скорости ротора и электромагнитного момента АД и динамической механической характеристики при пуске двигателя с насосом на валу (коэффициент ИР-компенсации $k_{km}=0.1$) в программе Matlab Simulink создана также имитационная модель, представляющая нагрузку в виде насоса на валу двигателя.

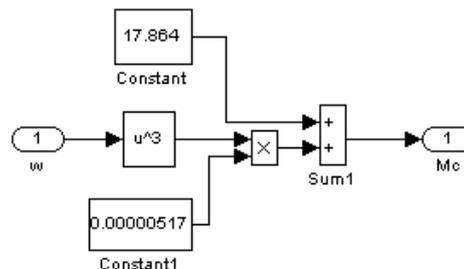


Рис. 3. Имитационная модель нагрузки в виде насоса на валу двигателя

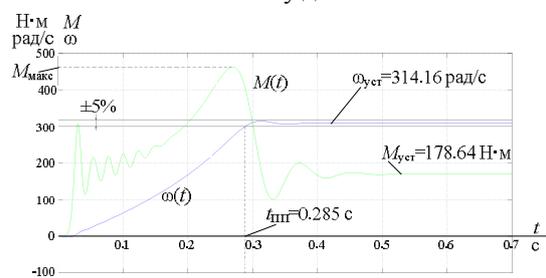


Рис. 4. Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске двигателя с насосом на валу

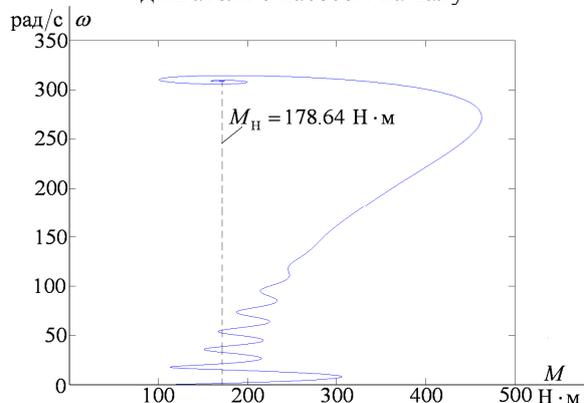


Рис. 5. Динамическая механическая характеристика двигателя при пуске двигателя с насосом на валу

В ходе исследований было выяснено, что при увеличении коэффициента ИР-компенсации, частота и амплитуда колебаний электромагнитного момента двигателя увеличиваются.

Сигналом тока можно воздействовать как на канал напряжения, так и на канал частоты. Функциональная схема электропривода с положительными обратными связями по току в канале регулирования напряжения и частоты приведена на рис. 6 [2]. При одновременном воздействии на канал частоты (компенсация

скольжения) и компенсации момента поддержание скорости на требуемом уровне можно обеспечить при меньших значениях напряжения U_{1j} .

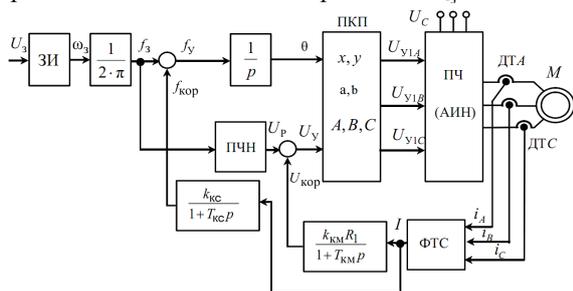


Рис. 6. Функциональная схема частотного управления асинхронным электроприводом с компенсацией момента и скольжения

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рис. 6, составим имитационную модель привода.

Для этого определим передаточные функции входящих в нее блоков.

Функциональная схема электропривода с положительными обратными связями по току в канале регулирования напряжения и частоты приведенная на рис. 6 отличается от функциональной схемы электропривода с положительной обратной связью по току в канале регулирования напряжения изображенной на рис. 1 наличием ПОС по току в канале регулирования частоты. Поэтому все входящие в нее блоки идентичны [3].

Положительная обратная связь по току в канале регулирования частоты представляется аperiodическим звеном:

$$W_{\text{ПОС}}(p) = \frac{k_{\text{КС}}}{T_{\text{КС}} \cdot p + 1} = \frac{0.01}{0.001 \cdot p + 1},$$

где $k_{\text{КС}}$ – коэффициент положительной обратной связи по току в канале регулирования частоты, примем $k_{\text{КС}}=0.01$; $T_{\text{КС}}=0.001$ – постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $k_{\text{КС}}$.

Имитационная модель замкнутой системы ПЧ – АД с компенсацией момента и скольжения изображена на рис. 7.

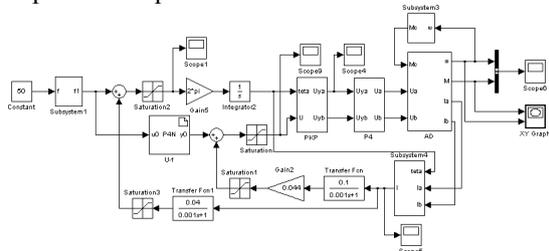


Рис. 7. Имитационная модель замкнутой системы ПЧ – АД с компенсацией момента и скольжения

На рис. 8 и 9 приведены полученные в результате моделирования переходные

характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД и динамическая механическая характеристика при пуске двигателя с насосом на валу (коэффициенты ИР-компенсации $k_{\text{КС}}=0.01$ и $k_{\text{КМ}}=0.1$).

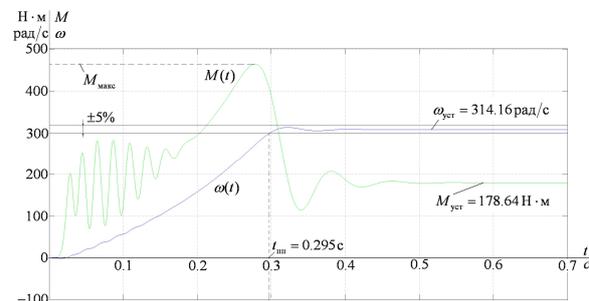


Рис. 8. Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске двигателя с насосом на валу

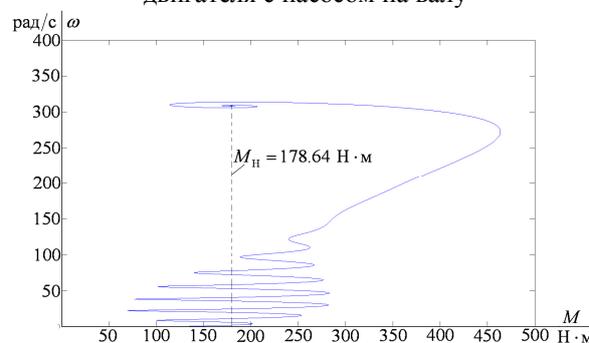


Рис. 9. Динамическая механическая характеристика двигателя при пуске двигателя с насосом на валу

Как видно из полученных характеристик при наличии положительной обратной связи по току в канале регулирования частоты амплитуда и частота колебаний электромагнитного момента двигателя увеличиваются, также время переходного процесса возрастает, поэтому предлагается использовать систему скалярного частотного управления с положительной обратной связью по току в канале регулирования напряжения.

Список литературы:

1. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
2. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 151 с.
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТОРЦЕВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Замчалкин А.С.

Научный руководитель: Тюков В.А., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет 630092, г. Новосибирск, пр.К.Маркса 20

E-mail: zamchalkin-alex@mail.ru

На сегодняшний день существенное развитие вычислительной техники и программного обеспечения позволяет выполнить расчеты различных режимов работы асинхронных двигателей (АД) полевыми методами.

Расчет трехмерного нестационарного электромагнитного поля в активном объеме АД с учетом вращения ротора представляет собой чрезвычайно сложную задачу даже для современных персональных компьютеров. Главным образом это объясняется колоссальными затратами машинного времени и оперативной памяти компьютера. Поэтому, чаще всего, предполагается, что магнитное поле неизменно по длине активного объема, а, следовательно, полный ток и векторный магнитный потенциал будет иметь только одну ненулевую z компоненту. В этом случае задача сводится к расчету плоскопараллельного магнитного поля в поперечном сечении АД. Замыкание токов через торцевые части обмоток с конечным полным сопротивлением учитывается путем совместного решения систем дифференциальных уравнений электрической цепи для статора и ротора и нелинейного нестационарного дифференциального уравнения для вектор-потенциала магнитного поля в двумерной постановке. При этом активные сопротивления и индуктивности, входящие в виде коэффициентов в систему дифференциальных уравнений электрической цепи, зачастую рассчитываются при помощи полуэмпирических зависимостей, редко учитывающих зависимость этих параметров от величины и частоты протекающего тока, а так же взаимоиндуктивные связи. Более того, чем необычной является форма торцевой зоны обмоток, тем более неопределенными становятся эти параметры. Преодолеть подобные трудности позволяет расчет трехмерной модели торцевой зоны обмоток.

В качестве примера на рис. 1 представлена торцевая зона обмотки ротора АД серии 4АРМАк-400/6000 УХЛ4. Отличительной чертой подобной конструкции торцевой части обмотки ротора, затрудняющей расчет активного сопротивления и индуктивности классическим в электромеханике методом, являются значительные вылеты стержней ротора, окруженные массивной нажимной плитой из ферромагнитного материала, а так же маленький зазор между короткозамыкающим кольцом и стальным валом ротора.

Уравнения электромагнитного поля Максвелла в комплексной форме, выраженные через векторный и скалярный потенциалы, имеют вид [1-2]:

$$\begin{cases} -\nabla \cdot ((j\omega\sigma - \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r) \vec{A} + (\sigma + j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_r) \nabla V) = \vec{J}_e; \\ (j\omega\sigma - \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r) \vec{A} + \nabla \times (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} \nabla \times \vec{A}) + \\ + (\sigma + j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_r) \nabla V = \vec{J}_e; \\ \nabla \cdot \vec{A} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где \vec{A} – векторный магнитный потенциал, V – скалярный электрический потенциал, \vec{J}_e – вектор плотности тока сторонних источников, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, μ_r – относительная магнитная проницаемость (зависящая от модуля вектора магнитной индукции, если речь идет о нелинейных средах), σ – удельная электрическая проводимость, ε_0 – электрическая постоянная, ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды, ω – частота гармонического колебания.

Граничные условия, для рассматриваемой задачи, примут вид [3]:

$$\begin{cases} (\vec{n} \times \vec{A})|_{S_0} = 0, \vec{n} \cdot (\vec{J})|_{S_0} = 0; \\ \vec{n} \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2)|_{S_{vn}} = 0, \vec{n} \cdot (\vec{J}_1 - \vec{J}_2)|_{S_{vn}} = 0; \\ (\vec{n} \times \vec{A})|_{S_v} = 0, (-\vec{n} \cdot \vec{J})|_{S_v} = I_n; \\ \vec{A} = (A_x; A_y; A_z), \vec{n} = (n_x; n_y; n_z) \end{cases} \quad (2)$$

где S_0 – поверхность ограничивающая исследуемый объем, $\vec{H}_{1,2}$ – напряженность магнитного поля на внутренних поверхностях S_{vn} , I_n – нормальная составляющая тока на внешней поверхности S_v вылета стержня, \vec{n} – вектор нормали к поверхности.

Системы уравнений (1-2) полностью описывают распределение электромагнитного поля в исследуемом объеме с учетом нелинейной магнитной характеристики ферромагнитных материалов и влияния вихревых токов.

Активное сопротивление и индуктивность вылетов стержней ротора и короткозамыкающего кольца можно рассчитать по широко известным зависимостям [2]:

$$P = \frac{1}{2} \int_v \operatorname{Re}(\vec{J} \cdot \vec{E}^*) dv \Rightarrow R = \frac{2P}{|I|^2};$$

$$\frac{LI^2}{2} = \int_v \vec{A} \vec{J}^* dv, \Rightarrow L = \left| \int_v \vec{A} \vec{J}^* dv / I^2 \right|$$

$$\vec{J} = -\sigma(V + j\omega\vec{A})$$

где P – средняя за период активная мощность,
* – комплексно-сопряженная величина.

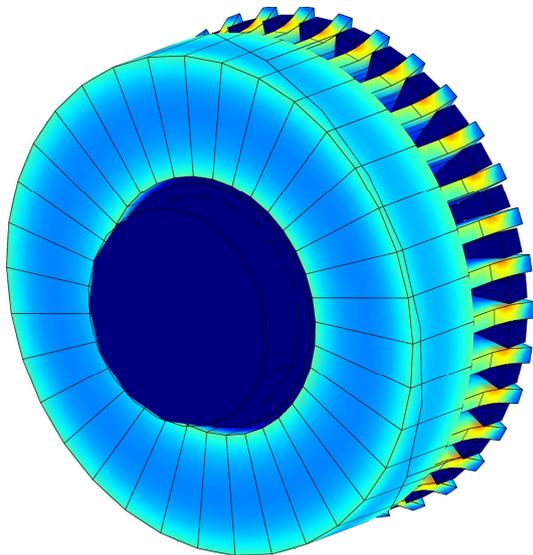


Рис.1 Распределение модуля плотности тока в торцевой части обмотки ротора АД серии 4АРМАк-400/6000 УХЛ4

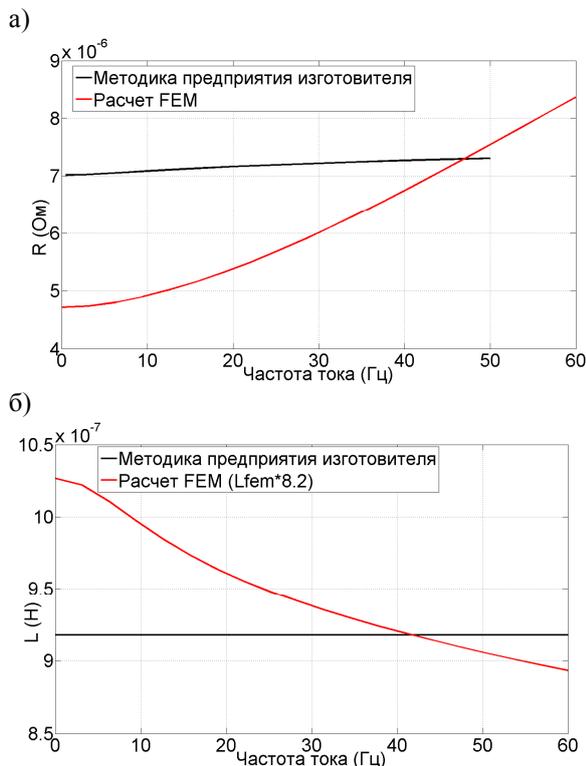


Рис.2 Суммарное активное сопротивление (а) и индуктивность (б) вылета стержня и участка короткозамыкающего кольца, заключенного между двумя соседними стержнями.

На рис. 2 обращает на себя внимание существенное различие результатов численного расчета и расчета по методике предприятия изготовителя суммарного активного сопротивления и индуктивности вылета стержня и короткозамыкающего кольца, заключенного между двумя соседними стержнями, что требует некоторого пояснения.

При расчете активного сопротивления вылета стержня по методике предприятия не учитывается зависимость этого параметра от частоты протекающего тока. При этом предполагается, что площадь поперечного сечения одинакова по всей длине вылета стержня и равна площади поперечного сечения в наиболее узкой части, т.е. в зоне стыка с короткозамыкающим кольцом. Такое допущение приводит к некоторому завышению активного сопротивления вылета в области малых скольжений, в то время как при скольжениях близких к единице результаты численного расчета практически совпадают с результатами расчета по методике предприятия. Численный расчет показывает, что при скольжении равном единице активное сопротивление вылета увеличивается на 36 % по отношению к его омическому сопротивлению.

Активное сопротивление короткозамыкающего кольца обмотки ротора рассчитанное численным методом и по методике предприятия практически совпадают на всем диапазоне скольжений.

Отличие суммарной индуктивности вылета стержня и короткозамыкающего кольца, заключенного между двумя соседними стержнями, рассчитанной по методике предприятия и численным методом составляет порядка 86 %. Это объясняется сложным пространственным распределением магнитного поля в области торцевой зоны активного объема АД, что не позволяет используя инженерные методы точно рассчитать этот параметр.

Выводы

Использование метода конечных элементов и современного программного обеспечения позволяет значительно повысить точность расчета активного сопротивления и индуктивности лобовых частей обмоток статора и ротора АД, а так же учесть влияние нелинейной магнитной характеристики стали и вихревых токов.

Список литературы

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. Пособие для вузов. – 10-е изд., испр.-М.: Наука. Гл. ред. Физ.- мат. Лит., 1989. – 504
2. Пименов Ю. В. и др. Техническая электродинамика / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман. - М.: Радио и связь, 2000. - 536 с.: ил.
3. Соловейчик Ю.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учеб. пособие / Ю.Г.Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.-869 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА МОМЕНТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Иванова А.Г.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

Настоящая работа представляет результаты исследований моментного двигателя, проводимых на кафедре Точного приборостроения.

Для того чтобы сосредоточить магнитное поле в определенной части электрической машины, в ее конструкции применяют различные элементы из ферромагнитных материалов. Совокупность таких элементов, с разделяющими их воздушными зазорами, составляет магнитопровод, или магнитную цепь электрической машины [1]. Магнитная цепь моментного [2] и линейного [3] электродвигателей с активным элементом в виде ленточной намотки или пакета пластин имеет сходную с традиционными электрическими машинами конфигурацию.

Любая электрическая машина оценивается двумя основными параметрами: индукцией магнитного потока в воздушном зазоре и линейной нагрузкой. Одним из способов увеличения индукции магнитного потока является уменьшение магнитного сопротивления цепи путем уменьшения воздушного зазора [1], в который необходимо поместить пакет с большим числом пластин. Создаваемое подобным двигателем тяговое усилие пропорционально произведению силы тока, протекающего по последовательно соединенным пластинам пакета, на число этих пластин. Если по пакету пластин пропускать ток одной и той же величины (максимально возможной), то увеличение усилия электродвигателя будет возможно только за счет увеличения числа пластин (увеличения ампер-пластин [3]). Однако увеличение числа пластин приведет к необходимости увеличения общего воздушного зазора магнитной цепи двигателя, что в свою очередь вызовет изменение индукции магнитного потока в сторону уменьшения. Соответственно усилие, создаваемое моментным двигателем, будет уменьшаться. Но одновременно, большее значение параметра «ампер-пластин» приведет к тому, что уменьшение усилия двигателя будет частично компенсироваться. В данной работе стоит задача определить число ампер-пластин, при котором усилие двигателя будет максимальным, а также оценить функцию зависимости усилия двигателя от воздушного зазора и числа пластин.

Для определения характера изменения индукции магнитного потока в воздушном зазоре от величины последнего, была изготовлена экспериментальная установка (рис. 1). Установка представляет собой магнитную систему, состоящую из группы высококоэрцитивных магнитов, двух кронштейнов и ярма (элементы магнитопровода). Магниты разнесены на кронштейнах с целью

обеспечения концентрации магнитного потока. При этом имеется возможность изменять их количество. Один кронштейн прикреплен к основанию жестко, в то время как другой можно перемещать на заданное расстояние, тем самым формируя необходимый воздушный зазор. Величину зазора изменяли от 5 до 25 мм., с шагом 5 мм. При каждом значении воздушного зазора величину индукции определяли с помощью магнитометра с использованием датчика Холла. Щуп датчика помещали в воздушный зазор между магнитами и определяли величину магнитной индукции в зазоре. Экспериментальные данные были получены для магнитных цепей, содержащих от 2 до 5 одинаковых магнитов.

Полученные экспериментальные зависимости показывают, что индукция магнитного потока в воздушном зазоре каждой рассматриваемой магнитной цепи уменьшается с ростом зазора.

Была произведена аппроксимация функций $B(\delta)$ полиномом вида $B(\delta) = a + b \cdot \delta + c \cdot \delta^2$. На рисунке 1 представлены аппроксимированные кривые (штриховые линии) и кривые, полученные экспериментально (сплошные линии). На этом рисунке N_M – число магнитов. Данные аппроксимационные функции достаточно хорошо описывают экспериментальную зависимость в пределах рабочего диапазона воздушного зазора.

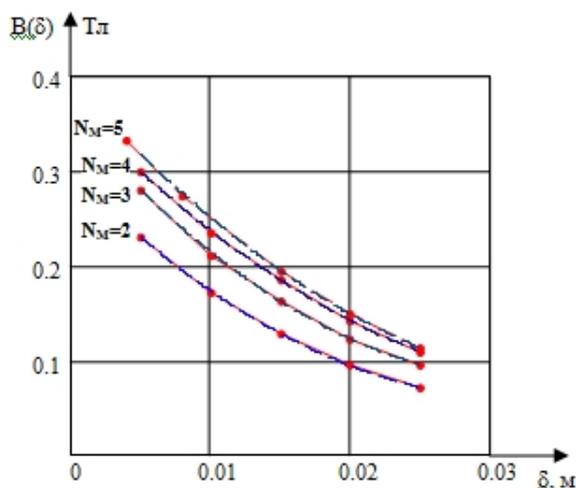


Рис. 1 Характер изменения индукции от длины воздушного зазора

Наиболее характерной для представленных в [2, 3] конструкций двигателей является магнитная цепь, включающая в себя группу из пяти магнитов. Коэффициенты аппроксимации составляют в этом случае $a=0.39431$ Тл, $b=16.28658$ Тл/м,

$c=202.1645 \text{ Тл/м}^2$, а ошибка аппроксимации кривой индукции магнитного поля имеет вид, представленный на рисунке 2.

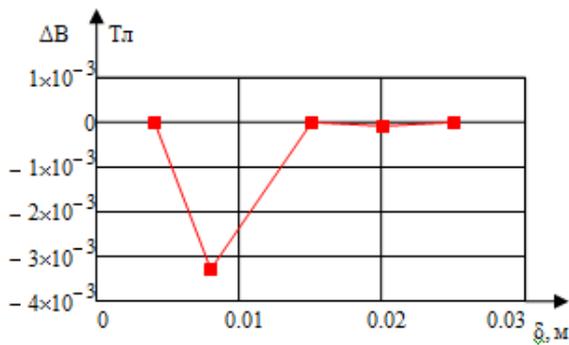


Рис. 2 Ошибка аппроксимации

Усилие, развиваемое двигателем, прямо пропорционально «ампер-пластинам» и индукции магнитного потока:

$$F(\delta) = (J \cdot l) \cdot N \cdot B(\delta), \quad (1)$$

где $(J \cdot l)$ - параметр, связывающий ток и геометрию пластины;

N - число пластин;

$B(\delta) = a + b \cdot \delta + c \cdot \delta^2$ - функция индукции магнитного потока.

Рабочий воздушный зазор такого электродвигателя можно определить по выражению:

$$\delta = d \cdot N + \Delta_M,$$

где d - толщина пластины с изоляцией;

Δ_M - суммарный механический зазор.

Для определения характера изменения усилия двигателя в зависимости от воздушного зазора, подставим в (1) все известные параметры:

$$J \cdot l \cdot N [a + b(d \cdot N + \Delta_M) + c(d^2 \cdot N^2 + \Delta_M^2 + 2 \cdot d \cdot N \cdot \Delta_M)] = F(\delta) \equiv F(N). \quad (2)$$

Допустим, что d - очень малая величина, тогда $\delta(N)$ - непрерывная функция. Это позволяет применить традиционные методы математического анализа и определить экстремум функции $F(\delta)$.

$$dF/dN = N^2(3 \cdot c \cdot d^2) + N(2 \cdot b \cdot d + 4 \cdot c \cdot d \cdot \Delta_M) + (a + b \cdot \Delta_M + c \cdot \Delta_M^2) = 0$$

Данное выражение можно записать в виде:

$$A \cdot N^2 + B \cdot N + C = 0. \quad (3)$$

Решив уравнение (3), можно определить, при каком количестве пластин будет наблюдаться максимальное значение силы.

Подставим реальные значения геометрии пластин $d = 0.1 \text{ мм.}$, механического зазора $\Delta_M = 1 \text{ мм.}$, и коэффициентов аппроксимации a , b и c в (3). Получаем один из корней квадратного уравнения

$N_1 = 181$. Воздушный зазор при этом будет равен 19.1 мм., величина индукции магнитного потока 0.156 Тл., а сила

$$F(\delta) = (J \cdot l) 28.26 \text{ Н.}$$

Второй корень уравнения ($N_2 = 349$) не учитывается, так как он находится за пределами рабочего диапазона воздушного зазора (зоны аппроксимации).

Определенный интерес представляет вид зависимости силы от числа пластин. Эта зависимость путем последовательного задания числа пластин N , определения величин δ и $B(\delta)$. Соответствующий график приведен на рисунке 3.

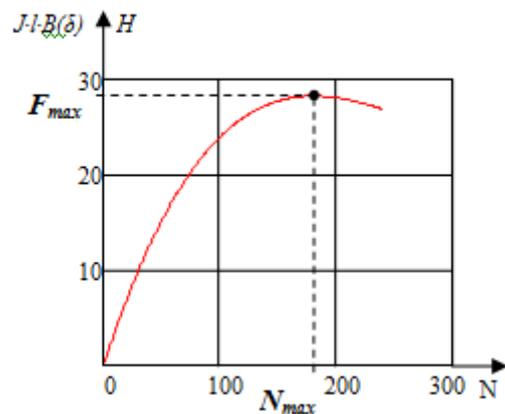


Рис. 3 Усилие развиваемое двигателем

Анализ полученной зависимости позволил сделать полезное для практических целей замечание. Так, например, если уменьшить число пластин относительно полученного значения N_{max} на (25-30)% то усилие уменьшится не более чем на (3-4)%. Уменьшение количества пластин пакета при этом существенно снижает тепловыделение в активном элементе, что в конечном итоге повышает эффективность и эксплуатационные характеристики двигателя.

Список литературы:

- 1 Вольдек А.И. Электрические машины Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
- 2 Мартемьянов В.М., Иванова А.Г. Активный элемент моментного двигателя// Контроль. Диагностика. 2011. специальный выпуск. С. 109-111.
- 3 Иванова А.Г., Мартемьянов В.М., Плотников И.А. Линейный двигатель с активным пакетным элементом// Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2010. №11. С. 36-39.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Калинкин Д.Ю., *Чайка Ю.Г.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30

*ОАО «Томский электротехнический завод», 634041, Россия г. Томск, пр. Кирова, д. 51а

E-mail: kalinkin-85@mail.ru

В последнее время вентильные двигатели с постоянными магнитами (ВДПМ) нашли широкое применение в системах автоматик и имеют разнообразные конструктивные исполнения. Поскольку имеют хорошие механические и регулировочные характеристики аналогичные коллекторным машинам постоянного тока.

Однако высокая стоимость высококоэрцитивных постоянных магнитов на основе редкоземельных сплавов и вентильных коммутаторов, а так же, в некоторых случаях применение различных типов датчиков положения и специальных алгоритмов управления затрудняют внедрение во все отрасли народного хозяйства. Объясняется это «инертностью» производства – нет общих подходов к проектированию, ВДПМ, неотработанная технология производства таких типов электромеханических преобразователей. При проектировании ВДПМ необходимо решить комплекс задач: проектирование электрической машины, разработка коммутатора, а так же разработка алгоритма управления. Причем каждый из этапов имеет свои особенности.

Цель данной работы состоит в разработке методики расчета электромагнитного момента вентильного двигателя.

Как известно при работе машины, в общем случае, взаимодействие электромагнитного поля статора и магнитного поля магнитов приводит к искажению картины результирующего магнитного поля. Результирующее поле основной гармонической составляющей в воздушном зазоре электрической машины, работающей под нагрузкой, представляет собой, в общем случае, неоднородное, сложное по характеру распределения в пространстве квазистационарное магнитное поле. В тоже время зубчатая структура статора вентильного двигателя и связанная с этим неравномерность воздушного зазора, приводят к возникновению реактивных моментов. Одна из проблем – значительный уровень пульсации электромагнитного момента.

Одним из способов уменьшения отрицательного влияния реактивного момента, служат некоторые конструктивные изменения, а именно: скос зубцов (пазов) статора, либо скос постоянных магнитов, находящихся на роторе; сдвиг постоянных магнитов в несколько ступеней [1].

Для решения поставленной задачи, авторами было принято решение взять за базовую модель шаговый двигатель ШД-104 разработанный на ОАО «Томский электротехнический завод».

Целесообразность использования численного математического моделирования при проектировании современных электромеханических преобразователей уже давно не вызывает ни каких сомнений. Поскольку позволяет не только дробиться хороших результатов на этапе проектирования, но и улучшить характеристики существующих конструкций. На сегодняшний день существует ряд программ позволяющих производить моделирование магнитного поля в электрических машинах, такие как ANSYS, ELCUT, Mat Lab и др. Но магнитное поле в этих пакетах программ вычисляется при заданных тока при фиксированных положениях ротора относительно статора, поэтому при дальнейшей разработке необходимо учитывать влияние токов в обмотке статора и вращения ротора под воздействием электромагнитных сил и нагрузок. Для таких эксплуатационных режимов как: разгон, работа при постоянной и переменной нагрузке и т.д. [2].

Внедрение вычислительной техники в научные исследования и инженерные расчеты позволило проводить работы на более качественном теоретическом уровне. Это, в свою очередь дало возможность более широкого учета факторов. Установление закономерностей между отдельными факторами являются определяющими критериями оптимизации при проектировании. Оптимально спроектированные электрические машины обеспечивают огромную экономию материальных ресурсов при массовых производствах [3].

Для проведения анализа электромагнитных процессов ВДПМ с постоянными магнитами воспользуемся физической моделью обобщенной электрической машины (ОЭМ) рис.1.

Выражения потокосцеплений для приведенной схемы ОЭМ имеют вид:

$$\begin{bmatrix} \Psi_D \\ \Psi_Q \\ \Psi_d \\ \Psi_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_D & 0 & M_D & 0 \\ 0 & L_Q & 0 & M_Q \\ M_Q & 0 & L_q & 0 \\ 0 & M_Q & 0 & L_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (1)$$

где L_D, L_Q, L_d, L_q – индуктивности соответствующих обмоток;

M_d, M_q – взаимные индуктивности обмоток статора и ротора по осям d и q ;

$\Psi_D, \Psi_Q, \Psi_d, \Psi_q$ – мгновенные значения потокосцеплений машины;

i_D, i_Q, i_d, i_q – мгновенные значения токов обмоток машины.

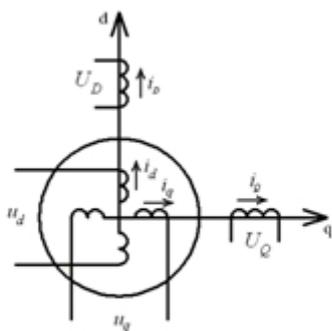


Рис. 1. Электрическая схема ОЭМ

Система уравнений (1) в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} U_D \\ U_Q \\ U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_d + L_D p & 0 & M_d p & 0 \\ 0 & r_q + L_Q p & 0 & M_q p \\ M_d p & -M_q \omega_p & r + L_d p & -L_q \omega_p \\ M_d \omega_p & M_q p & L_d \omega_p & r + L_q p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

Систему уравнений (2) можно привести к виду:
 $u = Ri + p\psi + B\omega_p$ (3)

где

$$\psi = \begin{bmatrix} L_D i_D + M_D i_d \\ L_Q i_Q + M_Q i_q \\ L_d i_d + M_d i_D \\ L_d i_d + M_q i_q \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -M_q i_Q - L_q i_q \\ M_d i_D + L_d i_d \end{bmatrix}$$

Приложенное к контуру напряжение равно падению напряжения на активном сопротивлении и сумме трансформаторной противо-ЭДС, которая зависит от изменения потокоцепления, и противо-ЭДС вращения, зависящей от движения контура.

Если обе части уравнения умножить на транспонированный вектор тока i^T , то получим уравнение мощности:

$$i^T u = i^T R i + i^T p \psi + i^T B \omega_p \quad (4)$$

$i^T B \omega_p$ представляет механическую мощность машины P_m отсюда электромагнитный момент M будет равен:

$$M = \frac{P_m}{\omega_p} = i^T B \quad (5)$$

Выражение для момента ВДПМ получим из формулы 5:

$$M = \frac{2EU}{\omega x_d} \sin \Phi + \frac{U^2}{\omega} \left(\frac{1}{x_q} + \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\Phi$$

Первое слагаемое в формуле – основной синхронный момент, второе – реактивный синхронный момент. При большом количестве полюсов принимают, что $x_d = x_q$, таким образом, максимальный момент двигателя достигается при угле нагрузки $\Phi = 90^\circ$ [4].

Для исследования пульсаций электромагнитного момента необходимо ввести дополнительные допущения, обусловленные дискретным характером переключения и смены электромагнитных структур цепей обмоток вентильного двигателя.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что при формировании математической модели необходимо правильно определить первичные и вторичные факторы, оказывающие влияние на пульсации электромагнитного момента. Очевидно, что так же необходимо определить оптимальные критерии управления электродвигателем для обеспечения максимального электромагнитного момента.

Список литературы:

1. Разработка вентильных двигателей с постоянными магнитами на базе штампа статора реактивной машины / И.Н.Радимов, В.В.Рымша, М.В.Гулый, З.П.Процина и др.//Электротех. И электромех.- 2008. - №1 – С.41-43.
2. Гамадин М.В. Конечноэлементное моделирование трехмерных нелинейных магнитных полей в электродвигателях: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010. – 20 с.
3. Мунадель Х.А. Анализ и уточнение методов расчета параметров рассеяния скоса пазов маломощных асинхронных двигателей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Харьков, 1992. – 22 с.
4. Хромов И.С. Исследование регулирующего устройства высокооборотного вентильного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Москва, 2011. – 20 с

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Клабуков Р.П.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: RomanFlesh@sibmail.com

Для многих производственных механизмов необходимо быстрое изменение значения или направления скорости движения рабочих органов, что требует от приводного двигателя обеспечения значительных ускорений или замедлений вращения вала, или, другими словами, высокого быстродействия. Для получения больших ускорений (замедлений) необходимо, чтобы двигатель развивал значительный вращающий момент M кратчайшее время, а его ротор имел небольшой момент инерции J . Применение подобных двигателей позволяет создать быстродействующие электроприводы, обеспечивающие повышение производительности и точности специальных устройств. Весьма перспективно использование малоинерционных двигателей в различного рода быстродействующих приводах, главным образом следящих систем.

Целью данной работы является оценка влияния электромеханической постоянной времени при проектировании быстродействующего вентильного двигателя (ВД).

При этом необходимо следовать следующим правилам:

- выполнение ротора двигателя с минимально возможной массой и с максимально возможным отношением длины к диаметру;
- увеличение тока в обмотках двигателя;
- повышение индукции магнитного поля двигателя.

Первый и второй способы реализуются в специальных конструкциях двигателей с малоинерционным гладким якорем, либо полым ротором. Третий способ реализуется практически во всех двигателях – как обычных, так и специальных – путем соответствующего расчета магнитной системы [1].

В статье рассматривается трехфазный беспазовый вентильный двигатель для специальных устройств с постоянными магнитами имеющий данные: мощность 10 кВт, частота вращения 8000 об/мин, электромеханическая постоянная времени 0,04 с.

При проектировании быстродействующих систем важнейшим показателем качества является время отработки управляющего воздействия. Однако использование такой прямой оценки не позволяет в общем виде сделать сравнение систем, построенных на базе двигателей различного типа. Поэтому оценивают быстродействие систем по косвенным показателям.

Набор параметров, по которым сравнивают двигатели для быстродействующего привода, зависит не только от закона перемещения, но и от значений статического момента и момента инер-

ции нагрузки, если приведенный момент инерции нагрузки J_H существенно больше момента инерции ротора J , то наибольшее быстродействие привода будет обеспечено при максимальном значении момента, развиваемого двигателем (критерием сравнительной оценки двигателей может служить момент на единицу объема $M_{y\partial} = M/V$ или момент на единицу массы mg двигателя $M_{y\partial} = M/mg$). В случае, когда $J_H \ll J$, максимум быстродействия можно обеспечить путем использования двигателя с максимальной приемистостью. Если же $J_H \approx J$, то определяющими будут значения приемистости и добротности.

Для определения предельно возможных удельных показателей рационально использовать известный модифицированный критерий – удельную приемистость:

$$P_{y\partial} = M^2 / Jm_g g^2.$$

Следует отметить, что пусковое значение приемистости связано с электромеханической постоянной времени через мощность потерь в меди якоря. Действительно,

$$P_{y\partial} = \frac{M_{\Pi}^2}{J} = \frac{M_{\Pi}}{J\omega_{x.x.}} M_{\Pi} \omega_{x.x.} = \frac{P_{\Pi}}{T_M},$$

где M_{Π} , P_{Π} – момент и мощность двигателя при пуске; $\omega_{x.x.}$ – частота вращения ротора при холостом ходе. Следовательно, величина, обратная приемистости, характеризует электромеханическую постоянную времени на единицу мощности потерь в меди обмотки якоря от пускового тока. В этом смысле проектирование двигателя на максимум удельной приемистости эквивалентно проектированию двигателя с минимально возможным значением электромеханической постоянной времени, достигаемым при затратах единицы потребляемой мощности в единице массы [2].

Для электромеханической постоянной времени электродвигателя справедливо выражение:

$$T_M = \frac{J\omega_0}{M_K} \quad (1)$$

где J – момент инерции ротора, кг·м²;
 ω_0 – скорость вращения идеального холостого хода, рад/с; M_K – пусковой момент, Н·м.

Из (1) следует, что под T_M понимается время, в течение которого электродвигатель с моментом инерции J разгоняется без нагрузки из неподвижного состояния до угловой скорости идеального холостого хода при неизменном моменте, равном моменту короткого замыкания M_K .

Ввиду повышенных требований к быстродействию проектируемого ВД и высокой частоты вращения ротора с постоянными магнитами предполагается компактное конструктивное исполнение ротора со сравнительно малым диаметром. В этом случае можно в первом приближении представить ротор массивным однородным цилиндром диаметра D и длиной l с удельной массой γ , его момент инерции будет равен [3]:

$$J = \frac{m}{8} D^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2)$$

где масса ротора

$$m = \frac{\rho \gamma}{4} D^2 l. \quad (3)$$

После подстановки (2), (3) в (1) получим:

$$T_m = \frac{P}{32} \cdot \frac{\gamma k_x \omega_H^2}{k_{nm} P_H} D^2 l, \text{ с}, \quad (4)$$

где $k_x = \frac{\omega_0}{\omega_H}$ – отношение скорости идеального

холостого хода к номинальной; $k_{nm} = M_k / M_n$ – кратность пускового момента; M_n – номинальный момент, Н·м; P_H – номинальная мощность электродвигателя, Вт.

Главные размеры D и l электродвигателя связаны с мощностью P_H и угловой скоростью ω_H через машинную постоянную C_A [4]:

$$D^2 l = C_A \frac{P_H k_E}{\omega_H^3 z_H \cos \varphi_H}, \quad (5)$$

где

$$C_A = \frac{2}{\rho \delta_\delta k_B k_{ob} A B_\delta}; \quad (6)$$

A – линейная нагрузка, А/м; B_δ – максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре, Тл; $\delta_\delta = b_\delta / \varphi$ – коэффициент полюсного перекрытия; k_B – коэффициент формы поля; k_{ob} – обмоточный коэффициент; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению; $z_H, \cos \varphi_H$ – номинальные КПД и коэффициент мощности двигателя.

Если подставить выражение (5) для $D^2 l$ в (4), то с учетом (6) получим

$$T_m = \frac{\gamma}{16} \cdot \frac{k_x k_E}{\delta_\delta k_B k_{ob}^3 z_H \cos \varphi_H} \cdot \frac{\omega_H}{k_{nm} A B_\delta}, \quad (7)$$

откуда выразим диаметр ротора через заданное значение электромеханической постоянной времени:

$$D = \sqrt[4]{\frac{\delta_\delta k_B k_{ob}^3 z_H \cos \varphi_H}{k_x k_E} \cdot \frac{k_{nm} T_m A B_\delta}{\gamma \omega_H}}, \quad (8)$$

Из (4) найдем длину активной части ротора:

$$l = \frac{32}{\rho} \cdot \frac{k_{nm} T_m P_H}{z k_x D^4 \omega_H^2}. \quad (9)$$

Для проектируемого двигателя из [5] можем взять: $k_E = 0,97$; $k_B = 1,11$; $k_{ob} = 0,91$; $\alpha_\delta = 2/\pi$. Приняв также $z_H = 0,9$; $\cos \varphi_H = 1$; $A = 450 \cdot 10^2$ А/м;

$B_\delta = 0,6$ Тл; $\gamma = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³; $k_{nm} = 10$, из (8) и (9) получим $D = 0,06$ м; $l = 0,193$ м.

Формула (7) указывает возможные способы снижения электромеханической постоянной: увеличение электромагнитных нагрузок; магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ и линейной нагрузки A . Рассчитанные выше главные размеры $D = 0,06$ м; $l = 0,193$ м получены при $B_\delta = 0,6$ Тл; $A = 450 \cdot 10^2$ А/м;

Увеличение индукции до 0,7 Тл за счет выбора более высокоэнергетических магнитов и большей толщины, позволит уменьшить T_m в 1,17 раза. Также увеличение линейной токовой нагрузки за счет интенсификации охлаждения двигателя (у асинхронных тяговых двигателей этот параметр может превышать $600 \cdot 10^2$) позволит уменьшить постоянную времени в 1,3 раза [5]. Предполагая, что радиальная толщина магнитов составит 8 мм, ширина бандажного кольца 1 мм, диаметр вала 37 мм (как у асинхронных двигателей с аналогичным значением номинального момента), можно взять наружный диаметр ротора $D = 56$ мм. Согласно (7) это приведет к уменьшению T_m примерно в 1,15 раза. В сумме перечисленные способы позволят снизить электромеханическую постоянную примерно в 1,75 раза. [6]

Таким образом можно сделать вывод что при реализации всех предложенных способов можно, при $T_m = 0,04$ с, уменьшить кратность пускового момента с 10 до значения $k_{nm} = \frac{10}{1,75} \approx 5,7$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. – М.: Энергия, 1975.
2. Куликов Н.И. и др. Исследование и разработка быстродействующих вентильных двигателей // Электричество., 2002, № 5. – С. 23-32.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. – М.: Мир, 1982.
4. Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. и др. Проектирование электрических машин / Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия. 1980.
5. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Л.: Энергия. 1980.
6. Афанасьев А.А. и др. Малоинерционный высокоскоростной магнитоэлектрический беспазовый вентильный двигатель // Электричество., 2007, № 4. – С. 28-35.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ВИБРОРЕСУРСНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Колесников А.В., Филимонов А.В.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
ОАО «НПЦ «Полус», г. Томск, пр. Кирова, 56в

E-mail: 1kav2@rambler.ru

Создание перспективных кораблей и судов отечественного флота обуславливает высокие требования к их электрооборудованию по виброшумовым характеристикам (ВШХ) и ресурсу работы.

В системах вентиляции применяют электровентиляторы осевого и центробежного исполнения, но наибольшее распространение получили вторые, обладающие рядом достоинств (высокий КПД, простота изготовления, равномерность подачи воздуха и простота регулирования).

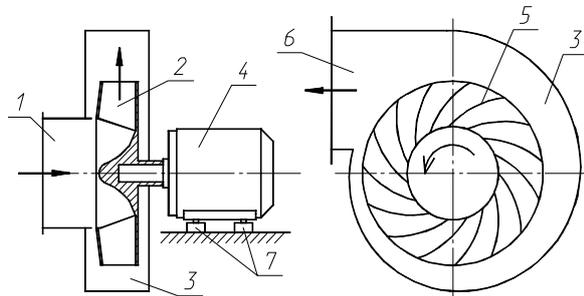


Рис. 1 Схема центробежного электровентилятора;
1 – входной патрубок; 2 – колесо; 3 – аэродинамический канал; 4 – приводной двигатель;
5 – лопатки; 6 – выходной патрубок;
7 – амортизирующие опоры

Работа электровентиляторов, как и любых вращающихся машин, неизбежно сопровождается их вибрацией и шумом различной природы. Изделия, склонные к собственным колебаниям, устанавливаются на фундаменте посредством упругих амортизирующих опор. Уровень вибраций оценивается по значению вибрационного ускорения, измеренного в точках крепления амортизаторов к изделию. В результате действия переменных радиальных сил, приложенных к статору и ротору электродвигателя, происходит периодическое смещение центра масс изделия относительно равновесного положения, воспринимаемое как колебание точек крепления. Переменные силы, возбуждающие вибрации изделия, имеют аэродинамическое, механическое и магнитное происхождение.

Возникновение вибрации в центробежных электровентиляторах определяют шумы и вибрации аэродинамического канала (возникающие из-за турбулентного течения перемещаемой среды в межлопаточных каналах и спиральном корпусе), вентилятора охлаждения двигателя и его вращающихся частей, резонансные вибрации корпусных деталей двигателя и вентилятора.

Улучшить вибрационные характеристики электровентилятора можно созданием виброгасящего аэродинамического канала, рабочего колеса с уве-

личенным количеством лопаток, загнутых назад, и спирального корпуса вентилятора пониженной виброактивности с использованием новых технологий, современных материалов [1, 2], а также приводного электродвигателя с пониженным уровнем вибрации.

В асинхронных двигателях, кроме основного рабочего процесса, наблюдаются сложные электромагнитные и механические явления, следствием которых являются вибрации и шумы. Источником вибраций магнитного происхождения асинхронного электродвигателя служит вращающееся магнитное поле в зазоре. Вибрации механического происхождения создаются вследствие остаточной статической и динамической неуравновешенности ротора и несовершенства подшипниковых узлов.

Вибрационная активность статора имеет магнитное происхождение и вызвана сложной структурой магнитного поля в зазоре и наличием его силовых свойств. Периодический закон распределения магнитной индукции вдоль полюсного деления в зазоре асинхронного двигателя всегда отличается от гармонического. Причиной несинусоидальности пространственного распределения магнитного поля является дискретное расположение проводников обмоток по пазам статора и ротора, эксцентриситет зазора, насыщение магнитной цепи, несимметрия фазных токов, открытые пазы и наличие шлицев полузакрытых пазов. В соответствии с принципами гармонического анализа и принципом суперпозиции магнитных полей несинусоидальное магнитное поле может быть представлено как сумма основной и высших гармонических составляющих. Первая гармоническая магнитного поля, локализованная между ферромагнитными поверхностями статора и ротора, создает силу их взаимного притяжения. Вследствие действия приложенных к статору сил он деформируется, приобретая овальную форму. Вибрации статора возникают как результат вращения волны деформации вместе с вращением магнитного поля электродвигателя.

Магнитное поле в зазоре, создаваемое обмоткой статора, содержит наряду с основными гармониками зубцового порядка, а поле, образуемое короткозамкнутой обмоткой ротора, содержит только гармоники зубцового порядка. При наложении зубцовых гармоник, созданных обмотками статора и ротора, образуются силовые волны низкого порядка, но возбуждающие вибрации статора с высокими частотами.

При наличии эксцентриситета воздушного зазора и несимметрии фазных токов статора в маг-

нитном поле возникают гармонические составляющие, не связанные с обмотками. Наложение данных гармоник на незубцовые гармоники поля приводит к появлению силовых волн, действующих на статор и ротор двигателя в широком спектре частот.

Укорочение и распределение обмоток способствуют уменьшению амплитуд высших гармонических поля обмотки статора, за исключением гармоник зубцового порядка, обмоточные коэффициенты которых остаются большими. Уменьшение расчетной индукции в зазоре может стать одним из средств уменьшения магнитных вибраций за счет уменьшения изгибающих моментов, действующих в ярме статора. Также не следует допускать насыщения зубцов и ярем, так как при этом появляются вибрации, вызванные наложением незубцовых обмоточных гармоник и гармоник насыщения. Поэтому для снижения виброактивности двигателей необходимо увеличивать высоту ярма за счет уменьшения в нем индукции.

Подшипники качения служат источниками многих слагающих вибраций электродвигателей. Главной причиной вибраций является несовершенство геометрических форм колец подшипников и тел качения. Также вынужденные колебания ротора могут возбуждаться опорами качения из-за конечного числа шариков в подшипнике. Во время вращения ротора на линии действия радиальной нагрузки (силы веса или одностороннего магнитного притяжения) поочередно оказывается или шарик, или пространство между соседними шариками. В результате периодически изменяется расстояние от оси вращения ротора до наружного кольца подшипника, что означает периодическое смещение ротора относительно корпуса электродвигателя и смещение центра масс относительно опор.

Ограничить вибрации механического происхождения можно с помощью высокоточной балансировки вращающихся частей и использования подшипников повышенного класса точности.

Кроме того, применяются новые конструктивные решения построения упругих подшипниковых опор, формирующие упорядоченную дорожку качения [3]. Это позволяет уменьшить статические и динамические смещения (блуждания) центра масс вращающихся частей ротора, повысить точность балансировки и в результате снизить механическую виброактивность электродвигателя.

Для увеличения ресурса электродвигателей в приводных асинхронных двигателях используется более эффективная схема охлаждения критичных узлов путем перемещения воздуха из его внутренней полости в специальные каналы охлаждения.

Активный перенос тепловой энергии от наиболее нагретых лобовых частей, ротора и подшипниковых узлов электрической машины на внешний радиатор позволяет снизить их тепловые нагрузки.

Конструктивная схема охлаждения приводного двигателя (рис. 2) работает следующим образом. В электродвигателе 6, закрепленном на корпусе электровентилятора 1, на валу ротора 7, кроме рабочего колеса 2, расположена дополнительно крыльчатка 3, выполняющая роль активного радиатора, сбрасывающего тепло электрической машины на рабочее колесо вентилятора (в воздушный поток рабочего канала) и формирующая охлаждающий поток воздуха внутри канала охлаждения статора 4 и радиатора 5, расположенного на корпусе двигателя.

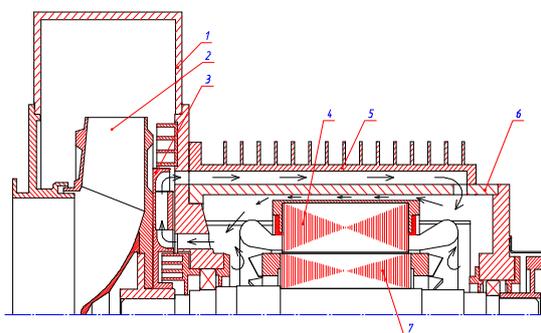


Рис. 2. Схема охлаждения электродвигателя:
1 – корпус электровентилятора; 2 – рабочее колесо;
3 – крыльчатка; 4 – статор; 5 – радиатор; 6 – электродвигатель; 7 – ротор

Таким образом, при проектировании асинхронных двигателей для систем вентиляции необходимо принимать меры по снижению источников вибраций аэродинамического, механического и магнитного происхождения.

Литература:

1. Новая серия радиальных электродвигателей переменного тока / О.А. Братковский, Г.С. Цехмиструк, В.В. Ануфриев, В.Б. Судов // Электронные и электромеханические системы и устройства: сб. науч. трудов НПП «Полус». Томск: МГП «РАС-КО» при изд-ве «Радио и связь», 2001. С. 217–220.
2. Особенности разработки центробежных электродвигателей с комбинированным спиральным корпусом / Н.И. Подлевский, Б.С. Хитрук, А.В. Филимонов, Е.А. Сергин // Электронные и электромеханические системы : сб. науч. трудов. Новосибирск : Наука, 2007. С. 162–166.
3. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. М.: Энергия, 1969.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Корнеев К. В.

Научный руководитель: Пастухов В. В., к.т.н., доцент
Новосибирский Государственный Технический Университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. к. Маркса, 20
E-mail: heart1981@mail.ru

Современный рынок асинхронных двигателей большой мощности для атомной и добывающей отрасли предъявляет все более жесткие требования к пусковым характеристикам электродвигателя. Условия эксплуатации, которых диктуют требования по обеспечению гарантированного безаварийного запуска в условиях значительной просадки напряжения и ограничения продолжительности пуска.

Одним из перспективных направлений в решении данного вопроса, по мнению авторов, является выбор оптимального, с точки зрения пусковых характеристик, соотношения активных и индуктивных параметров обмоток. Указания на возможное существование такого рода соотношений приводится в ряде известных литературных источников, [1, 2 и др.].

С целью определения возможности оптимизации пусковых характеристик был выполнен ряд поисковых математических экспериментов по определению возможности оптимизации пусковых характеристик путем рационального выбора соотношения параметров обмоток статора и ротора. В качестве математической модели использовались аналитические выражения для ударного тока и момента, полученные в [3-4]. В ходе работы соотношения параметров обмоток определялись из условия постоянства времени протекания переходного процесса включения асинхронного двигателя с заторможенным ротором. Время протекания переходного процесса определяется постоянной времени, обусловленной основным магнитным потоком [3-4].

Анализ результатов показал наличие экстремумов функций ударного и пускового тока и момента от соотношения активных сопротивлений обмотки статора и ротора. На рис. 1. показаны указанные зависимости для двигателя серии 4АРМАк, мощностью 400 кВт. При этом отмечено, что соотношение активных сопротивлений обмоток, полученное в ходе электромагнитного расчета таково, что значение ударного и пускового тока лежит вблизи максимального значения, а значение пускового и ударного момента - справа от максимума. При этом наблюдается несовпадение значений соотношений сопротивлений, при которых достигается максимум ударного и пускового момента, а максимальный пусковой момент достигается на фоне приближения ударного момента к минимальному значению и уменьшения ударного и пускового тока.

Максимальный пусковой момент достигается при отношении активного сопротивления статора

к ротору равного 0,097 и составляет 1,74. Поскольку характер изменения пускового и ударного момента таков, что значение пускового момента может быть достигнуто при различных значениях соотношения активных сопротивлений, и значении ударного момента и тока. Так принятое по результатам электромагнитного расчета соотношение активных сопротивлений составляет 0,60795 и ему соответствуют следующие значения ударного и пускового момента: 4,05 и 0,71. Такое значение пускового момента может быть достигнуто и при соотношении 0,03268, при этом кратность ударного момента будет составлять 2,069, что близко к минимуму функции изменения ударного момента от соотношения активных сопротивлений обмоток, рис. 1б. На рис. 2 показаны значения активных сопротивлений в относительных единицах [1], при которых достигается кратность пускового момента 0,71 и 1,74-максимальная.

По результатам математических экспериментов можно сделать вывод о существовании экстремальных значений ударного и пускового момента от соотношения параметров обмотки. Данный факт показывает, подтверждает ранее приведенные указания на возможное существование оптимальных соотношений. Представленные результаты могут служить начальной точкой для проведения углубленных исследований целью которых является оптимизация пусковых характеристик. Данная цель может быть разбита на следующие задачи: рассмотрение различных условий, которыми определяется соотношение параметров (например, постоянство потерь в меди); определение влияния оптимальных соотношений на другие характеристики электродвигателя; практическая реализация теоретически полученных рекомендаций.

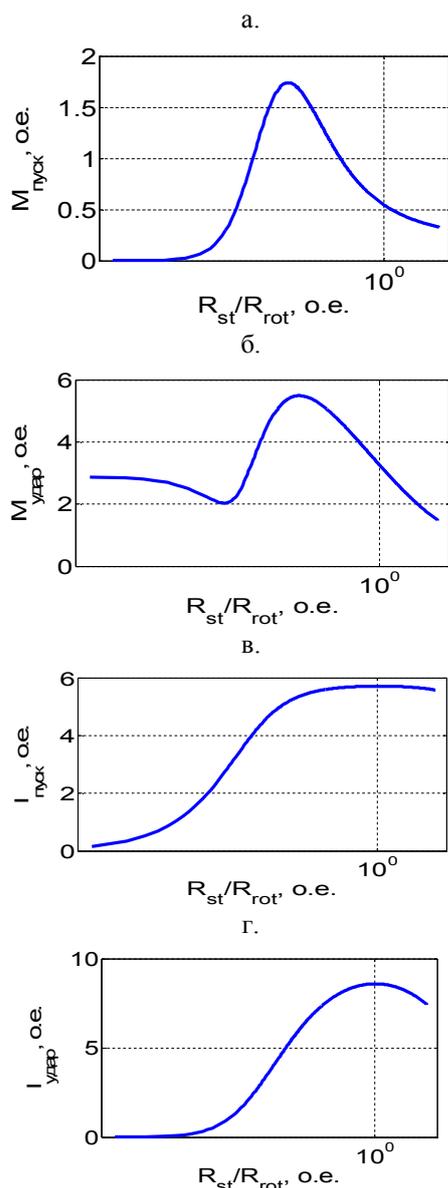


Рис. 1 Влияние соотношения активных сопротивлений статора и ротора на:
а. Пусковой момент; б. Ударный момент; в. Пусковой ток;
г. Ударный ток; при постоянстве корня λ_1 двигателя 4АРМАк-400/6000-2УХЛ4

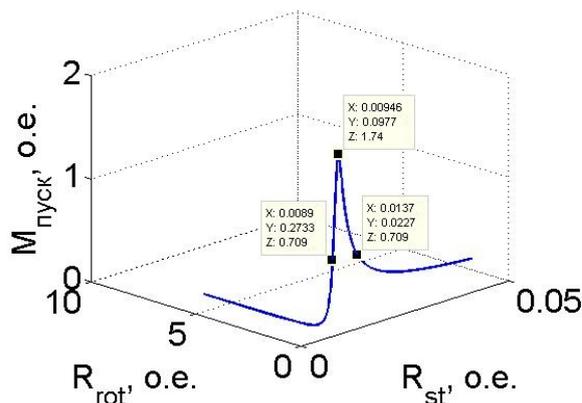


Рис. 2. Зависимость пускового момента от активных сопротивлений статора и ротора

Список литературы:

1. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Высш. шк. 2001. – 327 с.;
2. Петров Г. Н. Электрические машины: в трех частях // М.: Энергия. Ч.2., 1974. – 416 с.;
3. Корнеев К. В., Пастухов В. В. Режим работы крупных асинхронных двигателей при заторможенном роторе. // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы IV Международной науч.-техн. конф., 13-16 октября 2009 г., Томск: ТПУ, 2009. – С. 37-41;
4. Корнеев К. В., Пастухов В. В. Анализ режима короткого замыкания асинхронного двигателя. // Научный вестник НГТУ №4. Новосибирск. 2010. – С. 121-129;
5. Пастухов В. В., Корнеев К. В. Расчет пуска асинхронного двигателя с учетом изменения параметров. // Журнал «ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность» №5. Москва. 2011. С. 45-52;

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Кузьякин С.В.

Научный руководитель: Старых А.А., к.т.н., доцент
 Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: vkuzs@sibmail.com

Рассмотрена новая концепция электрогидравлического тормоза для пассажирских поездов (SEHB), предложенная в институте гидропривода и управления Аахенского технического университета (IFAS RWTH Aachen University, Germany) [1]. Представлены имитационная и математическая модели SEHB 4-ого порядка [2].

Научной новизной является синтезированная система управления с ПД-регулятором для нового конструкторского решения в классе электрогидравлических тормозов с самоторможением.

Редуцированная модель SEHB в векторной форме может быть представлена нелинейной аффинной моделью вида

$$\dot{x} = f(x) + ug,$$

где вектор состояния x и вектор g равны

$$x = \begin{pmatrix} p_L \\ p_{sup} \\ V_v \\ x_v \end{pmatrix}, \quad g = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \psi_V^2 K_v \\ 0 \end{pmatrix},$$

Дополненная модель уравнением выхода

$$y = p_{sup},$$

Вектор-функция $f(x)$ для случая увеличения и уменьшения тормозной силы имеет вид
 Случай А:

$$f(x) = \begin{pmatrix} T_L^A x_v \sqrt{p_{sup} - p_L - \delta p_{lp}} \\ T_{sup}^A x_v \sqrt{p_{sup} - p_L - \delta p_{lp}} \\ -2D_v \psi_V V_v - \psi_V^2 x_v \\ V_v \end{pmatrix}.$$

где T_L^A - известный постоянный коэффициент равный

$$T_L^A = \frac{B}{\frac{C_A C_B}{\delta^2 C_A + C_B} + \frac{A_{BA}^2}{c_{cal} + c_{s_{BA}}}}.$$

где T_{sup}^A - коэффициент, определяемый выражением

$$T_{sup}^A = \frac{2A_{sup} c_{cal} A_{BA} T_L^A M + \frac{2Bc_{s_{SUP}}}{\sqrt{1+\delta^3}}}{2C_{sup} c_{s_{SUP}} + A_{sup}^2},$$

При уменьшение сжатия тормозных колодок с
 Случай Б:

$$f(x) = \begin{pmatrix} T_L^B x_v \sqrt{ap_{sup} + p_L - p_{lp}} \\ T_{sup}^B x_v \sqrt{ap_{sup} + p_L - p_{lp}} \\ -2D_v w_v V_v - w_v^2 x_v \\ V_v \end{pmatrix}$$

где коэффициент T_L^B равен

$$T_L^B = T_L^A$$

где T_{sup}^B - определяется выражением

$$T_{sup}^B = \frac{\frac{2A_{sup} c_{cal} A_{BA} T_L^B}{i_L (c_{cal} + c_{s_{BA}})} M + \frac{2Bc_{s_{SUP}}}{\sqrt{1+\delta^3}}}{2C_{sup} c_{s_{SUP}} + A_{sup}^2},$$

На основании математической модели SEHB в программном пакете MATLAB Simulink построена имитационная модель SEHB (рис. 1).

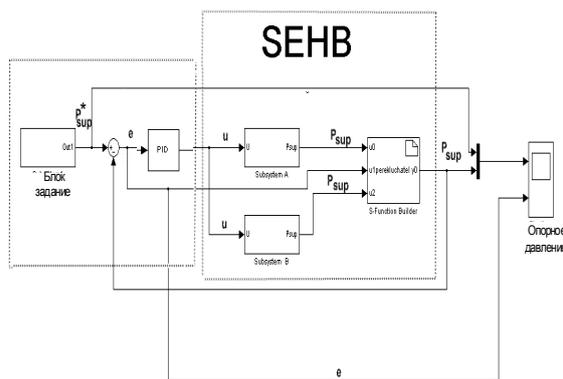


Рис.1. Имитационная модель SEHB в системе Simulink

На рисунке 2 показана структурная схема электрогидравлического тормоза в случае А (subsystemA).

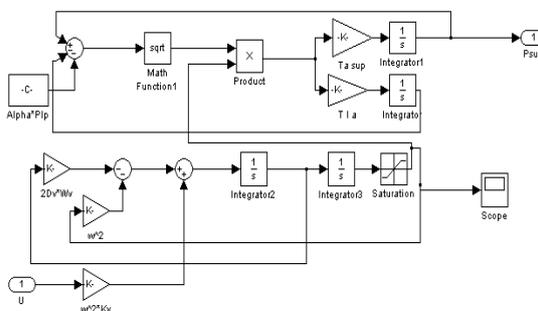


Рис.2. Блок SEHB (случай А) диском в случае Б (subsystemB) структурная схема приводится на рисунке 3.

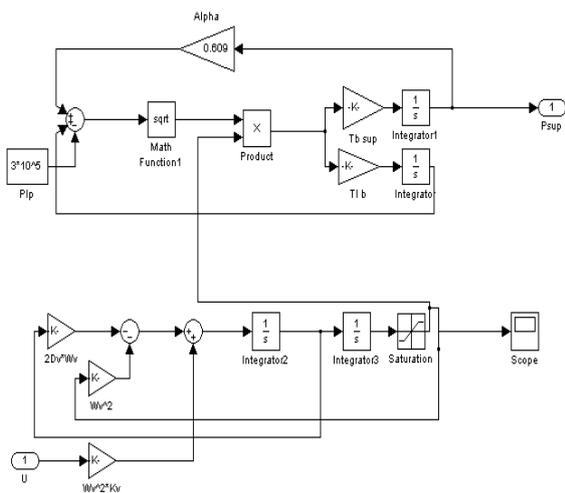


Рис.3. Блок SEHB (случай Б)

В качестве алгоритма управления SEHB специалистами IFAS RWTH Aachen University был выбран пропорциональный регулятор, который довольно часто предлагает приемлемое решение задачи слежения для гидравлического объекта с золотниковым регулированием жидкости [1].

Моделирование системы управления проводилось с П-регулятором, ПИ-регулятором и ПД-регулятором.

На рисунках 4, 5, 6 изображены переходные процессы опорного давления p_{sup} в системе с коэффициентом трения тормозных колодок $\mu=0,35$ и параметром затухания золотникового плунжера $D_v=0,4$. Так как из-за меньшей сжимаемости жидкости гидравлические системы обладают большей жесткостью по сравнению с пневматическими системами, то использование для SEHB золотникового распределителя с меньшим параметром затухания ведет к повышению колебательности давления, а значит и тормозной силы.

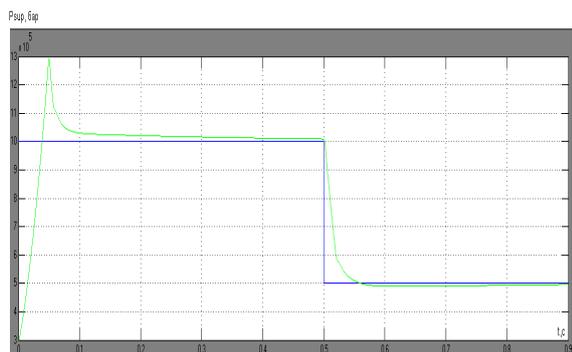


Рисунок 4. – Результаты моделирования управления SEHB с ПИ-регулятором

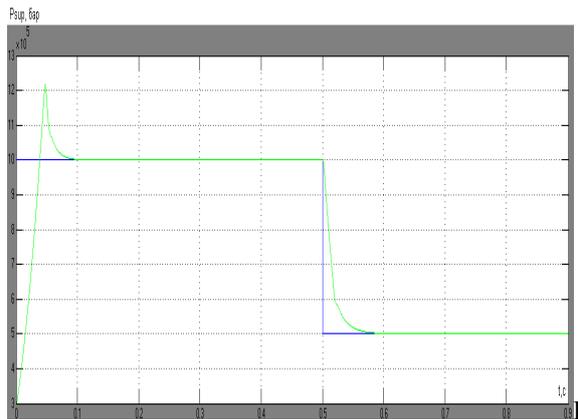


Рисунок 5. – Результаты моделирования управления SEHB с П-регулятором

Очевидно, что колебательный характер торможения поезда не является предпочтительным, так как приводит к рывкам и ударам в механической части тормоза. Исходя из этого, основное требование к качеству системы управления SEHB может быть сформулировано, как получение монотонного тормозного процесса независимо от заданного значения тормозной силы.

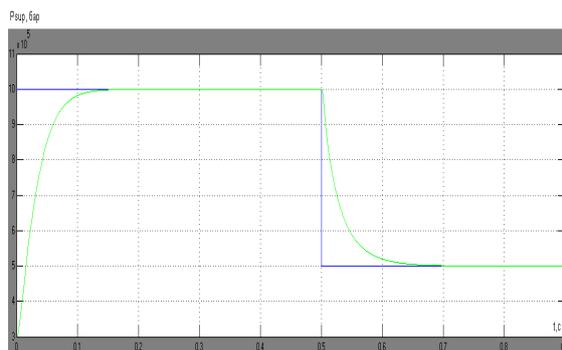


Рисунок 6. – Результаты моделирования управления SEHB с ПД-регулятором

Рисунок показывает, что, как и с предыдущими регуляторами, система управления SEHB с ПД-регулятором структуры решает задачу слежения за заданным значением опорного давления p_{sup} . При этом алгоритм позволяет достичь монотонного переходного процесса давления p_{sup} , что является основным требованием к качеству управления объектом.

Литература:

1. Liermann M., Stammen C. Development of a self-energizing electro-hydraulic brake (SEHB) for rail vehicles // The 10th Scandinavian Intern. Conf. on Fluid Power «SICFP07». Tampere, Finland, 2007. Tampere: Su-viSoft - CD-Rom.
2. Старых А.А. Синтез нелинейного управления самовозбуждающимся электрогидравлическим тормозом // Известия вузов. Электромеханика-2008. №6. – С. 54-59.

НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кунулеков Д.С.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: dauletk13@mail.ru

Силовые трансформаторы являются основными элементами электрических сетей и систем, определяющими надежность и экономичность их функционирования. Отказы в работе или аварийные отключения приводят к значительным убыткам.

Под надежностью трансформатора понимается способность его безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного времени и при определенных условиях применения.

Надежность трансформаторов зависит от качества конструкции, технологии изготовления и условий эксплуатации. Требования же к надежности силового трансформатора в большой мере зависят от степени его влияния на работу конкретной электростанции или электрической сети, энергосистемы в целом.

Особенно высокие требования предъявляются к трансформаторам большой мощности, входящим в состав блока «генератор-трансформатор». Работа блока зависит от работы блочного трансформатора и выход его из строя приводит к отключению блока, что может быть причиной развала энергосистемы. Для блоков АЭС невозможность выдавать мощность при работающем реакторе вообще является аварийной ситуацией. Не меньшая ответственность за работу сети в целом лежит на крупных автотрансформаторах межсистемных связей и узловых подстанций.

Контроль состояния таких трансформаторов выполняется наиболее полно, за рубежом наиболее совершенные системы контроля обслуживают именно повышающие трансформаторы большой мощности на электростанциях. Для таких трансформаторов целесообразно применять даже весьма сложные и дорогие контрольно-диагностические системы, например, автоматическую систему отбора проб масла, анализа содержащихся в них газов и постановки диагноза, стоимость которой составляет до 10 % стоимости всего трансформатора.

Трансформаторы меньшей мощности, как правило, легче резервируются, их выход из строя отражается на конкретных потребителях, но не на всей сети. Соответственно и системы контроля охватывают меньшее число выявляемых дефектов, основная оценка состояния производится при периодических обследованиях с отключением трансформатора.

На работу трансформатора влияют как сильные внешние воздействия, так и аномальные режимы работы энергосистемы. Перечислим эти воздействия и их последствия.

Грозовые и коммутационные перенапряжения, вызывающие повреждения главной и витко-

вой изоляции при недостаточных запасах их электрической прочности.

Повышения рабочего напряжения приводящие к перевозбуждению трансформаторов. Перевозбуждение магнитной системы вызывает повышенный нагрев как самого сердечника, так и конструктивных стальных деталей, что опасно для контактирующей с ними изоляции.

Токи КЗ, оказывающие ударные механические воздействия на обмотки. Серьезнейшим влиянием со стороны сети является воздействие на трансформатор токов КЗ, вызывающих деформацию обмоток при их динамической неустойчивости.

Токи намагничивания при включении, вызывающие повреждения обмоток из-за электрических и механических переходных процессов. Включение трансформатора в сеть само по себе является причиной броска тока при намагничивании сердечника. Так, из-за броска тока при включении со стороны ВН трансформатора блока АЭС мощностью 1000 МВ-А на несколько секунд для генераторов создается режим форсировки возбуждения. Бросок тока включения зависит в первую очередь от остаточной индукции в сердечнике трансформатора, которая в свою очередь зависит от конструкции сердечника. Разрабатываются способы ликвидации и снижения бросков тока.

Сейсмические воздействия на трансформатор. Большое внимание в последнее время уделяется сейсмостойкости мощных трансформаторов, разработке методов испытания их на сейсмостойкость. Примером трансформатора с повышенной сейсмостойкостью может служить трансформатор для Рогунской ГЭС, спроектированный ПО «Запорожтрансформатор». Он рассчитан на сейсмичность до 9 баллов по 12-балльной шкале.

Воздействия геомагнитных токов на трансформатор. После нескольких серьезных аварий трансформаторов в сетях Северной Америки были исследованы воздействия геомагнитных бурь, вызывающих появление в длинных линиях токов порядка сотен ампер очень низкой частоты, которые действуют аналогично постоянному току. Это относится к протяженным ЛЭП, ориентированным в меридиональном направлении. Геомагнитные токи в первую очередь воздействуют на измерительные трансформаторы тока, что ведет к массовым ложным срабатываниям релейной защиты. Однако при анализе последствий таких аварий отмечались также и местные перегревы массивных деталей и бака силовых трансформаторов из-за перенасыщения сердечника при протекании больших постоянных токов по обмотке.

Перегрузка трансформатора по току. Большое влияние на срок службы трансформатора из-

за старения изоляции оказывает режим нагрузки. Максимально допустимую температуру наиболее нагретых точек определяют два ограничивающих фактора старение целлюлозно-бумажной изоляции под воздействием продолжительного нагрева и возникновение газовых пузырьков на поверхности бумажной изоляции при быстром повышении температуры. Например, по рекомендациям института электроэнергетики США EPRI кратковременно допускается температура 180 °С, выше которой возможно возникновение пузырьков газа; продолжительно допускается температура 140 °С, выше которой существует опасность быстрого старения бумажной изоляции. Большинство зарубежных специалистов считают возможным допускать температуру не выше 140 °С из общих соображений надежности трансформатора.

Влияние тепловых перегрузок для российских трансформаторов не критично для условий нашей страны с зимним максимумом нагрузки и сравнительно холодным климатом. При правильном выборе трансформаторов классический тепловой износ витковой изоляции на практике не проявляется. Кроме того, нагрузки наших трансформаторов за последние пять лет из-за резкого спада промышленного производства снизились в среднем с 60-70 % до 20-40 %. Сохранилось незначительное количество подстанций с нагрузками 60-70 %.

Имевшие место 30-35 лет назад многочисленные аварии из-за полного теплового износа витковой изоляции торцевых частей обмоток трансформаторов 110-500 кВ происходили при нагрузке ниже номинальной и были обусловлены грубым дефектом конструкции обмоток.

Опасные тепловые воздействия перегрузок, особенно в жаркое время года, могут стать причиной повреждений герметичных вводов ВН, нижняя часть которых находится в наиболее нагретых верхних слоях масла. Такие повреждения, характерные образованием внутри покрышки желтого налета, наблюдались в последнее время довольно часто.

Заключение:

Большое разнообразие возможных дефектов трансформаторов, развивающихся в работе, требует направленности контроля в первую очередь на выявление наиболее частых и опасных дефектов. Наиболее частыми группами причин, вызывающих

отказы в работе отечественных трансформаторов, являются дефекты маслонаполненных вводов, повреждения обмоток из-за динамической нестойкости, увлажнение и газовыделение изоляции, дефекты устройств регулирования напряжения.

Темпы прироста мощностей во всей мировой энергетике резко снизились и прирост выработки электроэнергии достигается главным образом за счет интенсификации использования и улучшения методов эксплуатации оборудования. Заметно растет доля оборудования, отработавшего установленный стандартами номинальный срок службы на 20-30 лет дает большую выгоду, чем замена оборудования на новое.

В большинстве развитых стран имеются программы обследования состояния оборудования с целью выяснения возможностей продления его срока службы. Это требует развития соответствующих методов и средств контроля и диагностики состояния. В нашей стране в ближайшие годы как по экономическим, так и по техническим причинам не ожидается существенного обновления отработавших свой срок трансформаторов и на ближайшую перспективу усилия по сохранению работоспособности энергосистем будут направлены в основном на продление срока службы ныне работающих машин.

Первостепенное значение приобретают эффективный контроль состояния и определение работоспособности трансформаторов как важнейшие составные части эксплуатации электрических сетей. Решение этих задач является срочным, неотложным делом, промедление с оценкой работоспособности оборудования приведет к неминуемому снижению надежности передачи и распределения электроэнергии в России.

Список литературы:

1. Львов М. Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше / ОАО «Холдинг МРСК». Конференция ТРАВЭК. 2009.
2. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. - 216 с. - (Основное электрооборудование в энергосистемах: обзор отечественного и зарубежного опыта).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА

Ломаева Ю. В.

Научный руководитель: Ланграф С. В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: yulya17.89@mail.ru

Исследован асинхронный электропривод насосного агрегата. Представлены математическая и имитационная модели асинхронного электропривода и произведена оценка влияния параметров нагрузки на выходные координаты электропривода.

Современная жизнь немыслима без насосов. Эффективно и безопасно для окружающей среды насосы перемещают любые жидкости – горячие и холодные, чистые и с загрязнителями – обеспечивая комфортные условия жизни каждому человеку [1]. Использование регулируемого электропривода насосных агрегатов в системах коммунального и промышленного водоснабжения в течение последних 5-7 лет явилось предметом пристального внимания со стороны эксплуатирующих организаций. Среди методов, обеспечивающих увеличение эффективности работы и срока службы насосного оборудования, все более распространенным становится использование частотных преобразователей.

В качестве исследуемого асинхронного двигателя взят двигатель серии АД 132 М6 со следующими справочными данными:

$$P_H = 7,5 \text{ кВт}, n_H = 955 \text{ об/мин},$$

$$I_H = 17 \text{ А (при } U = 380 \text{ В)}, U_{\phi H} = 220 \text{ В},$$

$$\eta_H = 83,5 \%, \cos \varphi_H = 0,8 \text{ о.е.}, J = 0,042 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для проектирования и настройки системы управления, а также для моделирования переходных процессов в асинхронном электроприводе с преобразователем частоты был использован метод определения параметров АД на основании его справочных данных [2]:

$$R_1 = 0,986 \text{ Ом}, R_2' = 0,686 \text{ Ом}, L_1 = 0,00285 \text{ Гн},$$

$$L_2' = 0,00383 \text{ Гн}, L_\mu = 0,106 \text{ Гн}.$$

Для построения имитационной модели принят определенный уровень идеализации свойств АД и ПЧ: не учитываются потери в стали и насыщение магнитной цепи АД; рассматривается трехфазный симметричный режим работы; напряжение на выходе ПЧ строго синусоидальной формы; пренебрегают влиянием силового канала между АД и ПЧ.

Для классической «Т-образной» схемы замещения математическое описание процессов в АД имеет вид:

$$\begin{cases} pI_{sa} = \frac{1}{L_e} (U_{sa} - R_e I_{sa} + K_r \omega_r z_p \psi_{r\beta} + K_r A_r \psi_{ra}) \\ pI_{s\beta} = \frac{1}{L_e} (U_{s\beta} - R_e I_{s\beta} - K_r \omega_r z_p \psi_{ra} + K_r A_r \psi_{r\beta}) \\ p\psi_{ra} = R_r K_r I_{sa} - A_r \psi_{ra} - \omega_r z_p \psi_{r\beta} \\ p\psi_{r\beta} = R_r K_r I_{s\beta} - A_r \psi_{r\beta} + \omega_r z_p \psi_{ra} \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\psi_{ra} \cdot I_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot I_{sa}) \\ p\omega_r = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{cases}$$

Общий вид системы уравнений является наиболее подходящим для моделирования динамических режимов работы АД.

На основании математической модели электродвигателя была разработана в программном пакете MATLAB Simulink имитационная модель асинхронного электропривода (рис.1).

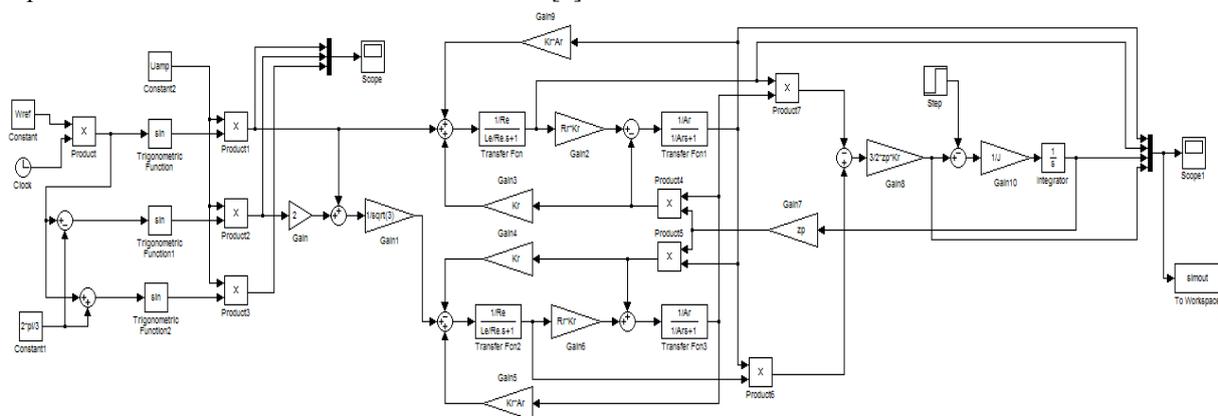


Рис. 1. Имитационная модель АД в эквивалентной двухфазной системе координат в среде MATLAB Simulink

Так как в качестве производственного механизма рассматривается насосный агрегат, то механическая характеристика имеет следующий вид (рис. 2):

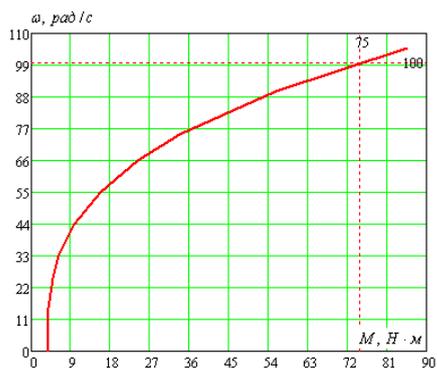


Рис. 2. Механическая характеристика насоса
На основании модели двигателя была разрабо-

тана имитационную модель электропривода насосного агрегата, в которой в качестве нагрузки, прикладываемой к исследуемому электроприводу, используется стандартный блок пакета MATLAB Simulink Lookup Table (рис. 3). Данный блок загружает рассчитанную ранее механическую характеристику насоса. Блок Park1 (Inverse Park Transformation) преобразует векторы из ортогональной вращающейся системы отсчета в двухфазную ортогональную систему отсчета.

Был исследован следующий режим работы электропривода: пуск от 0 до 30 Гц (рис. 4).

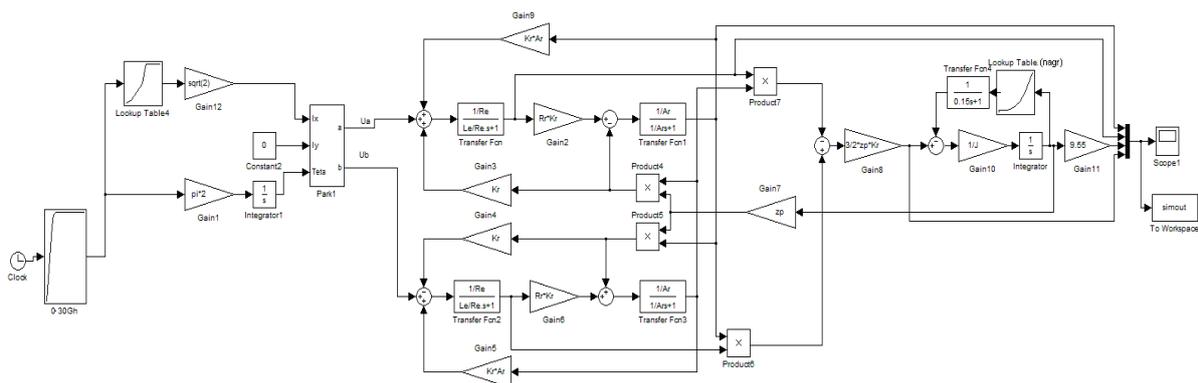


Рис. 3. Имитационная модель асинхронного электропривода насосного агрегата в среде MATLAB Simulink

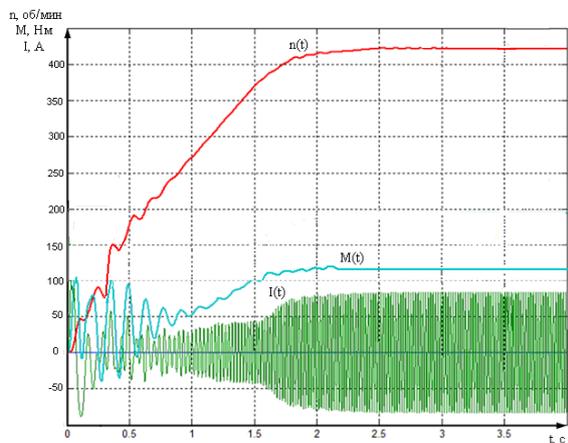


Рис. 4. Результаты моделирования
Результаты моделирования показали, что при динамическом разгоне электропривода максимальная величина тока составляет 100 А.

$$\frac{I_{п.МАХ}}{\frac{\sqrt{2}}{I_H}} = \frac{70,71}{17} = 4,16$$

Сравнивая величины максимального пускового и номинального токов, можно отметить, что ток находится в пределах допустимых значений.

Таким образом, регулирование скорости рабочего колеса насоса с помощью преобразователя частоты позволяет существенно повысить энергетические показатели установок, получить значительную экономию энергии и сократить потери воды за счет исключения избытка давления в гидравлической сети. Одно из главных преимуществ использования регулируемого электропривода насосных агрегатов – возможность адаптации его параметров к характеристикам гидравлической сети посредством выбора рациональной номинальной скорости вращения рабочего колеса, соответствующей основному режиму работы установки.

Список литературы:

1. Якубчик П.П. Насосы и насосные станции. – М: Стройиздат, 1996.-225 с.
2. Качин С.И., Чернышев А.Ю, Качин О.С. Электрический привод: учебно-методическое пособие. ТПУ. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 157 с.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА

Михайлов И.Ю., Федянин А.Л.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: mihaylov_iy@mail.ru

Ни для кого не секрет, что электрический транспорт обеспечивает около 2/3 от общего числа пассажироперевозок в современных городах.

Под данным видом транспорта понимается механическое устройство, использующее для осуществления движения электрическую тягу. К такому транспорту относятся троллейбусы, трамваи, метро и т.д. В процессе эксплуатации электрического транспорта выход из строя основных электромеханических узлов зачастую приводит к невозможности дальнейшей эксплуатации, чем наносит ощутимый отрицательный экономический эффект, связанный с возвратом электроподвижного состава в рабочее состояние. В связи с этим повышению надежности данного вида транспорта уделяется особое внимание.

В данной статье речь пойдет об условиях эксплуатации электрооборудования троллейбуса. Троллейбус представляет собой сложную многоуровневую систему, надежность, определение остаточного ресурса и сроков обслуживания которой, невозможно провести без предварительного анализа электрооборудования.

Электрическую схему троллейбуса условно делят на цепи напряжением 550 (В) (высоковольтные) и 12, 24 или 28 (В) (низковольтные). Цепи на 550 (В) получают электрическую энергию от контактной сети посредством токоприёмников, которые в свою очередь передают ее непосредственно на радиореактор — электрический фильтр, предотвращающий попадание помех из контактной сети в цепи троллейбуса и обратно. В состав данной сети входит:

- включенный через систему управления тяговый электродвигатель;
- устройство автономного хода для движения троллейбуса при опущенных токоприёмниках и при пропадании напряжения в контактной сети;
- мотор-компрессор для работы пневматических приводов;
- мотор-вентиляторы для охлаждения электрических приборов, рассеивающих большую мощность (пускотормозных реостатов, тягового двигателя и т.д.);
- устройства отопления и кондиционирования пассажирского салона и кабины водителя;
- преобразователи напряжения для питания низковольтных цепей, а также, при необходимости цепей переменного тока 220/380 (В) 50 (Гц).

Цепи на 12, 24 и 28 (В) в троллейбусах имеют гальваническую развязку от высоковольтных це-

пей, и предназначены для безопасного питания устройств, потребляющих относительно небольшую мощность, таких как:

- приводы вспомогательных механизмов (открытие дверей, стеклоочистители и т. д.);
- наружное и внутреннее освещение;
- световая и звуковая сигнализация;
- контрольно-измерительная и управляющая аппаратура (управляющие цепи системы управления двигателем, бортовой компьютер);
- средства связи и навигации.

Для питания низковольтных цепей в отсутствие высокого напряжения (при опущенных токоприёмниках и при пропадании напряжения в контактной сети) устанавливается аккумуляторная батарея.

В настоящее время, в качестве тяговых электродвигателей (ТЭД) используются быстроходные ТЭД постоянного тока смешанного возбуждения, основным преимуществом которых является простота в управлении, сочетание в одном устройстве преимуществ от последовательного и параллельного возбуждения двигателя. Асинхронный ТЭД — применяется в современных моделях троллейбусов. Из-за отсутствия щеточно-коллекторного узла и, как следствие, отсутствия износа щеток и элементов коллектора от взаимного трения, искрения и подгорания, применение асинхронного двигателя (АД) является наиболее перспективным. С другой стороны, для применения АД в качестве тягового двигателя необходимо наличие трёхфазного переменного напряжения, которое получается путем преобразования постоянного напряжения из контактной сети с помощью электронного блока. Однако стоимость такого электронного блока может превосходить стоимость тяговых двигателей постоянного тока, а надёжность, в ряде случаев, может оказаться недостаточной, вследствие проблем электромагнитной совместимости.

Устройство регулирования тока ТЭД называется системой управления (СУ). В простейшем случае регулирование тока осуществляется с помощью мощных реостатов, которые подключаются последовательно к двигателю. Одним из недостатков применения такой СУ является частый выход из строя коммутационного оборудования. Для устранения данного недостатка применяется тиристорно-импульсная система управления — СУ на базе силовых тиристорных, которая формирует необходимый по величине ток за счет формирования временной последовательности токовых импульсов заданной частоты и скважно-

сти. Однако наиболее перспективной СУ является электронная система управления (транзисторная СУ), которая является одной из самых экономичных по расходу электроэнергии, но при этом имеет достаточно высокую стоимость. Применение программируемых контроллеров в таких системах управления вызывает большое количество программных ошибок, сказывающихся на функционировании всей системы управления ТЭД. Следует заметить, что данный тип системы управления используется только в троллейбусах с асинхронным ТЭД.

Основные причины отказов электрооборудования троллейбусов можно условно разделить на 4 группы: климатические, технические, заводской брак, а также некорректная эксплуатация электрооборудования.

К климатическим факторам можно отнести температуру, относительную влажность, запыленность окружающего воздуха, присутствие агрессивных газов, которые пагубно влияют на состояние изоляции обмоток двигателя, коммутационной аппаратуры, подшипников. Большая интенсивность дождя может привести к частым коротким замыканиям [1]. К примеру, резко континентальный климат Западной Сибири, с морозной зимой и жарким летом ведет к ускоренному термическому старению [2]. Попадание грязи и пыли в смазку подшипников ТЭД, приводит к бринеллированию, абразивному износу, усилению усталостных повреждений, существенно уменьшается поверхность точек контактирования, повышается температура, что ведет к полному разрушению подшипников, с дальнейшим разрушением ТЭД и вспомогательных двигателей.

К техническим причинам нарушения работоспособного состояния электрооборудования троллейбуса можно отнести воздействие вибрационных и ударных нагрузок, линейного ускорения, вследствие передвижного характера работы. Также к этим причинам можно отнести и качество питающей высоковольтной сети, от которой зависит, в том числе, низковольтная сеть, питающая вспомогательное оборудование, различие режимов работы отдельных элементов в одной группе, неравномерность нагрузки на тяговые и вспомогательные двигатели. Неполное использование мощности АД, вследствие недостаточной перегрузочной способности по моменту и редкие случаи пере-

хода в режим КЗ с заторможенным ротором под полным напряжением [3].

Под заводским браком понимается установка на новые или прошедшие ремонт подвижные составы, оборудования с низкими эксплуатационными свойствами. К такому виду брака также можно отнести не квалифицированно выполненную конструкторскую и производственную работу (неправильная конструкция, некорректный выбор применяемых материалов, технологии изготовления, видов испытаний, расчетного уровня воздействующих факторов при испытаниях и т.д.) [4]

Некорректной эксплуатацией электрооборудования является несвоевременное проведение технического обслуживания и ремонта, а также изменение конструкции без согласования с заводом-изготовителем, неверное прогнозирование остаточного срока службы.

В реальных условиях эксплуатации электроподвижного состава все виды отказов регулярно встречаются в совокупности.

Перечисленные выше причины выхода из строя технических устройств могут повлечь за собой нарушение в работе узлов, и даже отказ. Как было уже сказано, простой электроподвижного состава несет большие экономические потери, складывающиеся из самого простоя троллейбуса, а также экономические потери на внеплановый ремонт. В связи с этим, необходимо получить сведения об эксплуатационной надежности троллейбуса, рассчитать показатели надежности, выявить слабые звенья в комплексе и разработать методику увеличения надежности, а также прогнозирования остаточного ресурса технических устройств.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов. – М: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
2. Обеспечение надежности асинхронных двигателей / Захарченко П.И., Ширнин Е.Г., Ванев Б.Н., Гостищев В.М. Донецк: УкрНИИВЭ, 1998. – 324 с.
3. Животкевич И.Н, Смирнов А.П. Надежность технических изделий. – М: Оолита, 2003. – 472 с.
4. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин: Учеб. пособие. – М.: Высш. Шк., 1988. – 223с.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Музер К. Г.

Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: expert88@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.

Неадекватность работы электродвигателей вызывает у потребителей различные виды расходов на ремонт отказавшего двигателя, восстановление ущерба от потери выпуска продукции, необходимо время на восстановление нормального технологического процесса.

Надежность является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность 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 используемых 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: сколом лап. При обнаружении скола 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 таблице 1 приведены данные отказов за 2010-2011 годы.

Таблица 1. Количественная оценка отказов двигателей.

Причина отказа	2010		2011	
	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 рисунке 1 показана интенсивность отказов вследствие повышенной вибрации, в области подшипникового узла и обмоток электродвигателя за период с 2007-2011 г.г.

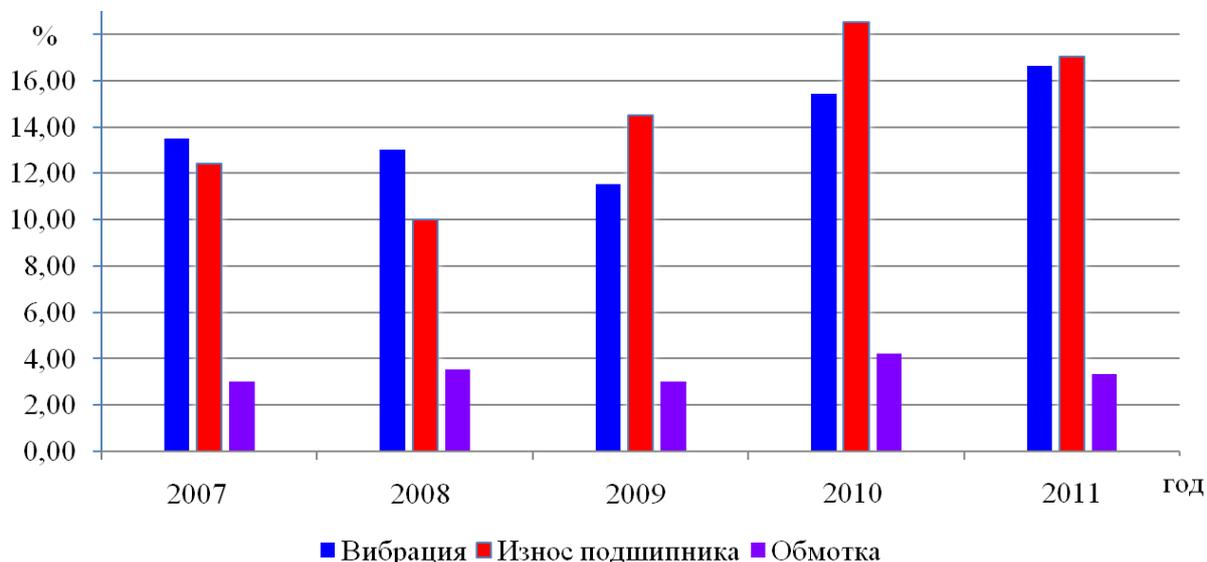


Рисунок 1. Количественная оценка основных отказов ВАД

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. Перемещиваясь 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 срока 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.

ЛИТЕРАТУРА:

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. Ванев, 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., Ванев Б. Н., Гостищев В. М. Обеспечение надежности асинхронных двигателей// УкрНИИВЭ.-Донецк, 1998. – 324 с.

ПИТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ГИРОМОТОРА ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

Нгуен Чонг Иен, Ву Доан Кет

Научный руководитель: Белянин Л.Н, к.т.н, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
trongyen_bn_87@yahoo.com

Введение

Теоретические и экспериментальные исследования трехфазного двигателя при питании его от однофазной сети и специальные использования найдены в работах М. Крондья (1934г.), В. Шуйского (1935г.), И. М. Эдельмана (1936г.) и многих других [1].

В различных условиях, возникает необходимость подключения трехфазного электродвигателя переменного тока в однофазную сеть.

В частности, в гироскопических приборах был применен способ питания асинхронных гиromоторов от однофазной сети, в результате чего удалось легче решить проблему токоподводов, а также упростить источник питания гиromотора [2].

В нашем гиросtabilизаторе нужно питать гиromотор, установленный на платформе, которая имеет неограниченный угол поворота. Для этого использование гибкого токоподвода не пригодно, поэтому подключение гиromотора в однофазной сети с конденсатором является предпочтительным вариантом.

Цель работы – экспериментальное определение оптимальной емкости фазосдвигающего конденсатора для гиromотора ГМВ – 524.

1 Гиromотор ГМВ-524 как трехфазный асинхронный двигатель

ГМВ-524 состоит из статора и ротора. На статоре установлены 3 обмотки, соединенные звездой. При подключении трех статорных обмоток в трехфазной сети 36В, 400Гц тока, протекающие по обмоткам, создают вращающееся магнитное поле со скоростью $\Omega_1 = 24000 \text{ об/мин}$. Ротор гиromотора представляет собой сердечник с короткозамкнутой обмоткой типа «белчья клетка», совмещенный с маховиком для увеличения кинетического момента. Скорость вращения ротора Ω меньше скорости вращения поля на величину скольжения.

Общая точка обмоток статора наружу не вынесена. Нагрузкой гиromотора является только момент оси трения в опорах подвеса ротора и аэродинамический момент сопротивления.

Метод подключения трехфазного двигателя в однофазную сеть с фазосдвигающим конденсатором может применяться для всех асинхронных двигателей, но чаще всего применяется для двигателей малой и средней мощности (до 1,7, кВт) [1], так как пусковая и рабочая емкости при принятой схеме зависят от мощности двигателя. Использование этого метода для двигателей большой мощности экономически не выгодно, так как стоимость конденсатора становится значительно выше.

2 Электрические схемы подключения трехфазных двигателей к однофазной сети.

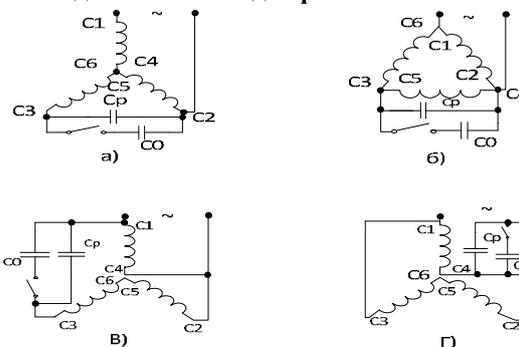


Рис.1 Электрические схемы включения трехфазного двигателя в однофазную сеть

Cр- рабочий конденсатор; C0- отключаемый конденсатор; C1, C2, C3 – обозначения выводов начала обмоток; C4, C5, C6 – обозначения выводов конца обмоток.

В связи с особенностью конструкции ГМВ-524 (пункт 1) выбрана схема “а” рис.1 для подключения его в однофазную сеть, рис.2.

Подготовка эксперимента

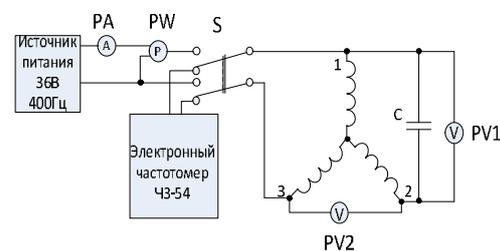


Рис. 2 Электрическая схема экспериментальной установки



Рис.3 Внешний вид экспериментальной установки

4 Результаты исследования

Таблица 1

Зависимость параметров от величины емкости конденсатора

C, мкФ	t разгона, сек	Pпуск, Вт	Pном, Вт	Uc max, В	U23 max, В
3	240	26.25	7.5	37	36
3.1	240	26.25	7.5	37	36.2
3.2	230	25	7.5	37	37
3.3	230	25	7.5	38	38
3.4	210	25	7.5	38	38
3.5	210	25	7.5	38	39
3.6	210	25	7.5	38	40
3.7	210	25	7.5	38	40.2
3.8	210	25	7.5	38	41
3.9	180	25	7.5	38	41.8
4	180	25	8.75	38	42
4.1	180	25	8.75	38	42.5
4.2	180	25	8.75	38	43
4.3	180	27.5	8.75	38	44
4.4	180	26.25	8.75	38	44
4.5	180	26.25	8.75	38	45
4.6	170	26.25	10	38	45.2
4.7	160	26.25	10	38	45.8
4.8	150	26.25	10	38	46
4.9	150	26.25	10	38	46.5

Для получения необходимого объема экспериментальных данных было проведено 40 пусков гиromотора. На основе данных, приведенных в таблице 1, построены графики зависимостей, представленные на рис. 4.

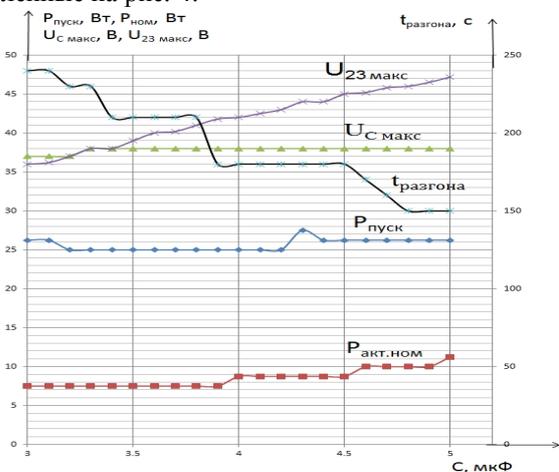


Рис.4 Графики зависимости параметров гиromотора от величины емкости фазосдвигающего конденсатора

На рис. 4 обозначено: $P_{пуск}$ - пусковая активная мощность гиromотора; $P_{ном}$ - номинальная активная мощность гиromотора; $U_{C макс}$, $U_{23 макс}$ - максимальные напряжения на конденсаторе и между 2-ым и 3-ым выводами обмоток соответственно; $t_{разгона}$ - время разгона.

Критерии выбора оптимальной емкости :

- фазные токи и напряжения после разгона близки к номинальным значениям;
- $U_{C, ном} \approx U_{23} \approx U$ (сдвиг фаз симметричен), где U – напряжение сети;
- минимальное время разгона;
- напряжение на конденсаторе не слишком велико.

На основе этих критериев и по результатам экспериментов выбрана оптимальная величина емкости - $C = 3,4$ мкФ .

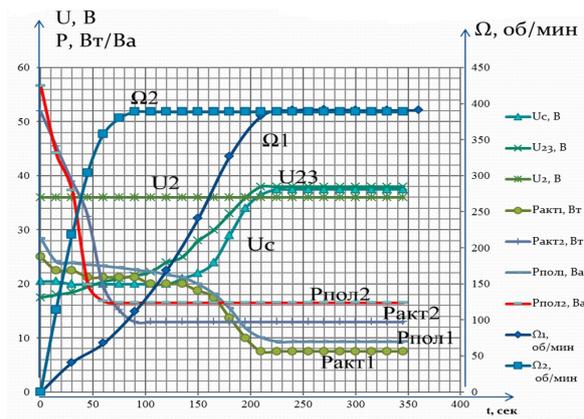


Рис.5 Пусковые характеристики гиromотора при подключении гиromотора к трехфазной сети в соответствии с ТУ и однофазной сети с конденсатором $C = 3,4$ мкФ

На рис.5 обозначено:

U_C , U_{23} , $P_{акт1}$, $P_{пол1}$, Ω_1 - ток, напряжение на конденсаторе, активная мощность, полная мощность, скорость вращения гиromотора соответственно при питании от однофазной сети;

U_2 , $P_{акт2}$, $P_{пол2}$, Ω_2 ток, фазное напряжение, активная мощность, полная мощность, скорость вращения гиromотора соответственно при питании от трехфазной сети;

5 Выводы:

- трехфазный асинхронный гиromотор ГВМ - 524 можно питать от однофазной сети с фазосдвигающим конденсатором;

- пуск гиromотора возможен при отсутствии отключаемой емкости C_0 ;

- оптимальная величина емкости- $C=3,4$ мкФ;

При $C = 3,4$ мкФ получено:

По сравнению с параметрами после разгона при питании от трех фазной сети получено:

номинальная активная мощность гиromотора при питании от однофазной сети с конденсатором емкостью 3,4 мкФ меньше на 5,5 Вт;

номинальная полная мощность гиromотора при питании от однофазной сети с конденсатором емкостью 3,4 мкФ меньше на 7 Ва;

время разгона возросло от 1,5 мин до 3,5 мин, что является приемлемым.

Литература:

1.Торопов Н.Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором.- М.:Энергия, 1970.-80 с.

2.Белянин.Л.Н, Голиков.А.Н, Мартемьянов. В.М. Гирскопический датчик инклинометра.- Патент на изобретение № 2116525, 1999.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Цаюк 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

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 поведения земной коры [2]. Поэтому, исследование колебательного электропривода переменного тока с заданными динамическими показателями является актуальной задачей.

К динамическим показателям можно отнести: ударные значения токов статора и ротора, электромагнитного момента, времени переходного процесса, перерегулирования и т.д. [1, 3, 4].

Аналитические зависимости тока статора и ротора записываются в операторной форме, при условии несимметрии электрической машины.

С учётом корней характеристических уравнений и функций регулирования во временной плоскости пусковые токи можно рассчитать по следующим выражениям:

$$\begin{aligned}
 I_{\alpha s}(t, D, \delta) &= I_{\alpha s0} \sin \left[\omega_1 t - \arctg \left[\frac{\omega_1 (L_{\alpha r} (\gamma_1 \gamma_2 - \omega_1^2) - R_{\alpha r} (\gamma_1 + \gamma_2))}{R_{\alpha r} (\gamma_1 \gamma_2 - \omega_1^2) + L_{\alpha r} (\gamma_1 + \gamma_2) \omega_1^2} \right] \right] + \\
 &+ I_{\alpha s1} e^{-\gamma_1 t} + I_{\alpha s2} e^{-\gamma_2 t}; \\
 I_{\beta s}(t, D, \delta) &= I_{\beta s0} \cos \left[\omega_2 t - \arctg \left[\frac{\omega_2 (L_{\beta r} \omega_2^2 (\gamma_3 + \gamma_4) - R_{\beta r} (\gamma_3 \gamma_4 - \omega_2^2))}{\omega_2^2 (R_{\beta r} (\gamma_3 + \gamma_4) + L_{\beta r} (\gamma_3 \gamma_4 - \omega_2^2))} \right] \right] + \\
 &+ I_{\beta s1} e^{-\gamma_3 t} + I_{\beta s2} e^{-\gamma_4 t}; \\
 I_{\alpha r}(t, D, \delta) &= I_{\alpha r0} \sin \left[\omega_1 t - \arctg \left[\frac{\gamma_1 \gamma_2 - \omega_1^2}{\omega_1 (\gamma_1 + \gamma_2)} \right] \right] + \\
 &+ I_{\alpha r1} e^{-\gamma_1 t} + I_{\alpha r2} e^{-\gamma_2 t}; \\
 I_{\beta r}(t, D, \delta) &= I_{\beta r0} \sin \left[\omega_2 t - \arctg \left[\frac{(\gamma_3 + \gamma_4) \omega_2^2}{\omega_2^2 - \gamma_3 \gamma_4} \right] \right] + \\
 &+ I_{\beta r1} e^{-\gamma_3 t} + I_{\beta r2} e^{-\gamma_4 t},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где ω_1 , ω_2 – угловые частоты напряжений питания статора и ротора, $\omega_2 = \omega_1 + \Omega$, Ω – частота колебаний ротора, $I_{\alpha s0}, I_{\beta s0}, I_{\alpha r0}, I_{\beta r0}$ – амплитуды режима установившегося короткого замыкания вынужденных составляющих токов, $I_{\alpha s1}, I_{\alpha s2}, I_{\beta s1}, I_{\beta s2}, I_{\alpha r1}, I_{\alpha r2}, I_{\beta r1}, I_{\beta r2}$ – модули составляющих свободных токов с коэффициентами затухания, соответственно γ_i , выраженные через параметры электрической машины и функции регулирования.

Согласно [3], колебательный пусковой электромагнитный момент при фазовом способе

возбуждения колебательного режима работы МДП описывается произведением токов вида (1) при условии, что $\omega_1 = 0$, может быть записан в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{выск}}(t) &= M_{01} \cos[\Theta_4] \sin[\Theta_1] + M_{02} \cos[\Theta_2] \sin[\Theta_3] + \\
 &+ M_1 \sin[\Theta_1] e^{-\alpha_1 t} + M_2 \sin[\Theta_1] e^{-\alpha_2 t} + M_3 \cos[\Theta_4] e^{-\alpha_3 t} + \\
 &+ M_4 e^{-\alpha_4 t} + M_5 e^{-\alpha_5 t} + M_6 \cos[\Theta_4] e^{-\alpha_6 t} + M_7 e^{-\alpha_7 t} + \\
 &+ M_8 e^{-\alpha_8 t} + M_9 \sin[\Theta_3] e^{-\alpha_9 t} + M_{10} \sin[\Theta_3] e^{-\alpha_{10} t} + \\
 &+ M_{11} \cos[\Theta_2] e^{-\alpha_{11} t} + M_{12} e^{-\alpha_{12} t} + M_{13} e^{-\alpha_{13} t} + \\
 &+ M_{14} \cos[\Theta_2] e^{-\alpha_{14} t} + M_{15} e^{-\alpha_{15} t} + M_{16} e^{-\alpha_{16} t},
 \end{aligned} \tag{2}$$

где M_{01}, M_{02} – амплитуды вынужденных составляющих электромагнитного момента, M_i – модули свободных составляющих момента с коэффициентами затухания α_i и α_i , Θ_i – начальные фазы при соответствующих аргументах вынужденных и свободных составляющих.

Результаты расчёта показали, что наибольшее влияние на формирование ударного колебательного электромагнитного момента оказывают составляющие M_1, M_2, M_3 и M_4, M_9, M_{12} с коэффициентами затухания $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4$ и их комбинация $(\alpha_1 + \alpha_3)$:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{выск}}(t) &= M_{01} \cos[\Theta_4] \sin[\Theta_1] + M_{02} \cos[\Theta_2] \sin[\Theta_3] + \\
 &+ (M_1 \sin[\Theta_1] + M_9 \sin[\Theta_3]) e^{-\alpha_1 t} + M_2 \sin[\Theta_1] e^{-\alpha_3 t} + \\
 &+ M_3 \cos[\Theta_4] e^{-\alpha_4 t} + (M_4 + M_{12}) e^{-\alpha_4 t}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Для подтверждения адекватности полученных выражений (1 и 3) были проведены экспериментальные исследования по определению влияния геометрии электрической машины двойного питания (МДП) и частоты колебаний ротора исполнительного двигателя на динамические показатели электропривода колебательного движения. Экспериментальная установка была собрана на базе лаборатории кафедры электропривода и электрооборудования Энергетического института ТПУ, блок-схема которой приведена на рис. 1. Она состоит из: системы управления статором и ротором МДП, реализованной на базе асинхронного двигателя с фазным ротором, блока датчиков (БД) с системой преобразования аналогового сигнала в цифровой, персональный IBM-совместимый компьютер со встроенной платой ввода-вывода данных.

В качестве МДП использовалась электрическая машина переменного тока типа МТН-011-6У1 со следующими параметрами: $P_n = 1400$ Вт, номинальное напряжение $U_n = 220$ В, номинальный ток статора $I_n = 3,35$ А, $\eta = 76$ %, $\cos \varphi_n = 0,78$, номинальная частота вращения $n_n = 1250$ об/мин.

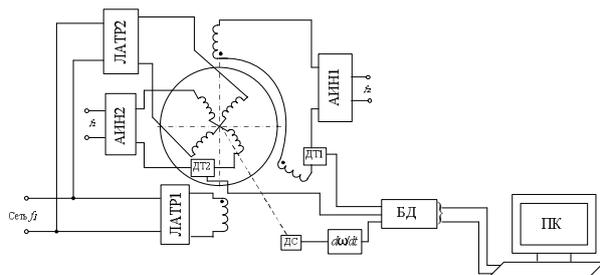


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Остальные параметры электродвигателя были найдены согласно методике [5, 8] с учетом включения трехфазного двигателя по двухфазной схеме и составили: активные сопротивления статора $R_{ас}=6,9$ Ом, $R_{бс}=5,9$ Ом, приведенные сопротивления ротора $R_{ар}=10,3$ Ом, $R_{бр}=9,2$ Ом индуктивности рассеяния статорных обмоток: $L_{оас}=6,4$ мГн, $L_{оос}=5,9$ мГн, роторных обмоток: $L_{оас}=8,4$ мГн, $L_{оос}=8,0$ мГн, взаимная индуктивность $L_m=0,152$ Гн. В таблице 1 приведены геометрические параметры для двух вариантов исполнения электрических машин.

Таблица 1.

МТН-011-6 (1)	МТН-011-6 (2)
$l_{дн1}=0,075$ [м]	$l_{дн2}=0,075$ [м]
$D_{н1}=0,132$ [м]	$D_{н2}=0,132$ [м]
$q_{эф1н}=5,675 \cdot 10^{-7}$ [м ²]	$q_{эф12н}=5,17 \cdot 10^{-7}$ [м ²]
$q_{эф2н}=1,418 \cdot 10^{-6}$ [м ²]	$q_{эф2н}=1,2 \cdot 10^{-6}$ [м ²]

Для подтверждения полученных ранее теоретических результатов определение влияния частоты колебаний ротора на параметры и динамические показатели электрической машины, работающей в колебательном режиме, были сняты и проанализированы ударные значения тока статора и колебательного электромагнитного момента двигателя при различных частотах колебаний (рис. 2): $\Omega_1=6,28$ рад/с, $\Omega_2=18,84$ рад/с, $\Omega_3=31,4$ рад/с и $\Omega_4=43,96$ рад/с.

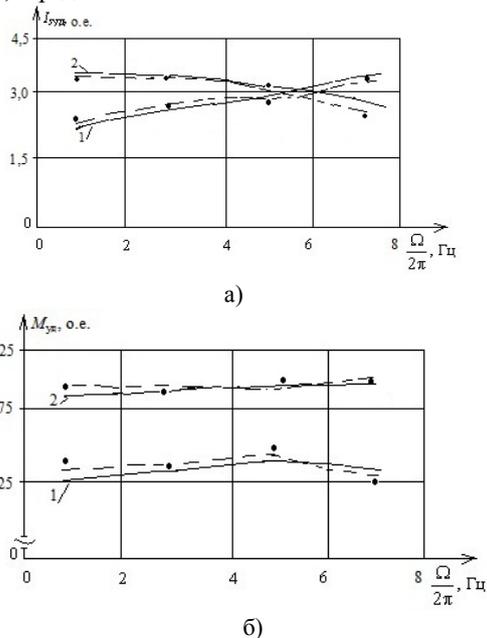


Рис. 2. Зависимости ударных значений: а) тока статора по оси α и β ; б) колебательного электромагнитного момента

двигателя от частоты колебаний электропривода $\Omega/2\pi$ (экспериментальная (прерывистая) и расчётные (сплошная)).

Для двигателя 1 при данных величинах геометрических параметров, расчётные значения ударного тока статора по оси α и колебательного электромагнитного момента равны: $I_{асудрасч1}=3,45$ [о.е.], $M_{удрасч1}=1,95$ [о.е.] и для двигателя 2 – $I_{асудрасч2}=3,3$ [о.е.], $M_{удрасч2}=2,15$ [о.е.].

На рис. 3 представлены расчётные и экспериментальные зависимости колебательного электромагнитного момента для двигателей и тока статора 1.

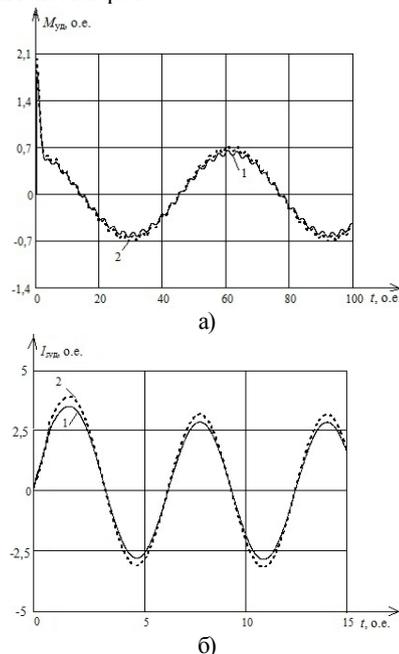


Рис. 3. Временные зависимости: а) колебательного электромагнитного момента МДП, б) тока статора при частоте колебаний ротора $\Omega/2\pi=5$ [Гц] (--- эксперимент, — расчёт)

Кроме того, был реализован безударный пуск по току и моменту МДП, при её работе в колебательном режиме. Расчётные значения начальных фаз питающих напряжений для двигателей 1 и 2 составили: $\alpha_1=17,8^\circ$, $\beta_1=0,74^\circ$, $\alpha_2=10,6^\circ$, $\beta_2=0,97^\circ$ для первого случая, и $\alpha_1=50,67^\circ$, $\beta_1=45^\circ$, $\alpha_2=36^\circ$, $\beta_2=33,36^\circ$ – для второго, соответственно. Для заданных величин геометрических параметров, расчётные значения тока статора по оси α и колебательного электромагнитного момента при реализации безударного пуска составили: для варианта 1 – $I_{асрасч1}=2,32$ о.е., $M_{расч1}=1,12$ о.е.; для варианта 2 – $I_{асрасч2}=2,24$ о.е., $M_{расч2}=1,05$ о.е.

В заключении отметим, что данный способ определения динамических показателей колебательного электропривода является адекватным, и точность его составляет 10,5%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М. –Л., Госэнергоиздат, 1963. – 744с.
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.
4. Загорский А.Е., Шакарян Ю.Г. Управление переходными процессами в электрических машинах переменного тока. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -176 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ В АВТОНОМНОМ ЗАРЯДНОМ КОМПЛЕКСЕ

Плиска И.Н.

Научный руководитель: Попов В.И. доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vitr@sibmail.com

Для физических экспериментов и некоторых областей техники необходимы импульсные источники электрической энергии. В связи с этим на практике в основном нашли применение емкостные накопители энергии (ЕНЭ). При работе генераторов импульсов различают две основные стадии — стадию зарядки накопителя и стадию его разряда на нагрузку. Для осуществления данных стадий используют ненасыщенный высоковольтный генератор с программным регулятором возбуждения. Такой генератор обеспечивает линейное нарастание зарядного напряжения на накопителе, за счет осуществления заряда постоянным по величине током [1].

ЕНЭ содержит ряд n последовательно соединенных накопительных конденсаторов (рис.1). Конденсаторы ряда, например, чётные имеют цепи перемены их полярности. Все конденсаторы ряда заряжаются одновременно и параллельно. В качестве зарядного источника переменного напряжения должен быть использован обязательно ненасыщенный высоковольтный электромашинный генератор (ВСГ) дискового типа с самовозбуждением, имеющий главную якорную обмотку ОГ и обмотку самовозбуждения ОС, уложенную в те же пазы, что и главная обмотка. Индуктор генератора имеет две обмотки возбуждения ОБ1 и ОБ2. На обмотку возбуждения ОБ2 подается постоянное напряжение. Обмотка возбуждения ОБ1 является форсировочной и питается от обмотки самовозбуждения ОС через выпрямитель VD2 только при открытом тиристоре VT1. Эта схема обеспечивает линейное нарастание тока возбуждения при форсировке. Генератор приводится в движение при помощи двигателя либо от вала отбора мощности. Каждый накопительный конденсатор C_n последовательного ряда $C1_n...Cn_n$ на время его заряда подключается к высоковольтной обмотке генератора ОГ через выпрямитель VD_n с помощью отделителей быстродействующего коммутационного аппарата КА, причём выпрямитель выполнен в виде чередующихся анодных и катодных групп вентиля [2].

Для установления связей между элементами схемы ЕНЭ и доказательства реализации его назначения – обеспечивать заряд емкостного накопителя рассмотрим работу комплекса (рис.1).

Подготовка комплекса к работе.

При замыкании ключа S1 трансформатор T2 подключается к источнику переменного напряжения и от его обмотки W3 заряжаются конденсаторы C2, C3, C4 и C7 через вентиль VD2 и зарядные сопротивления R2, R3, R4 и R7. От обмотки

W2 через вентиль VD1 и зарядное сопротивление R1 заряжается конденсатор C1.

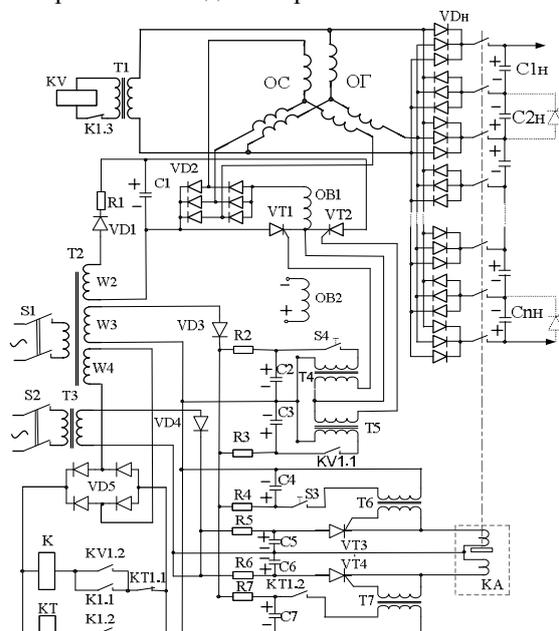


Рисунок 1. Схема установки зарядного устройства

От обмотки W4 напряжение подается на мостовой выпрямитель VD1, через который в дальнейшем будут запитаны катушки реле времени KT и промежуточного реле K. При замыкании ключа S2 трансформатор T3 подключаясь к источнику переменного напряжения заряжает конденсаторы C5 и C6 через вентиль VD4 и зарядные сопротивления R5 и R6.

При замыкании ключа S3 предварительно заряженный конденсатор C4 разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора T6. Импульс напряжения с вторичной обмотки трансформатора T6 поступая на поджигающий электрод тиристора VT3, отпирает его и предварительно заряженный конденсатор C5 разряжается на обмотку электродинамического привода быстродействующего коммутационного аппарата КА. Аппарат срабатывая, своими отделителями подключает обмотку ОГ высоковольтного электромашинного генератора через чередующиеся катодные и анодные группы выпрямителя VD_n к конденсаторам емкостного накопителя $C1_n...Cn_n$.

Работа комплекса в процессе заряда емкостного накопителя (рис.1,2)

Раскручиваются дисковые роторы генератора от вала отбора мощности мобильного устройства. На обмотку возбуждения ОБ2 подается напряжение с тем, чтобы обеспечить в генераторе небольшой поток возбуждения (1÷3% от номинального)

и, соответственно, напряжение $U_{Г0}$. От этого напряжения генератора конденсаторы накопителя зарядятся только до напряжения U_{C0} . При замыкании кнопки S4 предварительно заряженный конденсатор C2 разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора T4. Импульсом выработанным вторичной обмоткой трансформатора T4 открывается тиристор VT1 в цепи форсировочной обмотки возбуждения OB1. Этот момент соответствует точке 1 на временной диаграмме напряжений (рис.2).

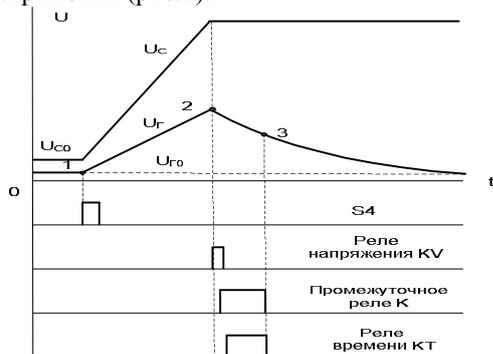


Рисунок 2. Временная диаграмма напряжений цикла зарядки ЕНЭ

При открытии тиристора VT1 в работу включается форсировочная обмотка возбуждения OB1, которая питается через выпрямитель VD2 от обмотки самовозбуждения ОС. Начинается процесс форсированного самовозбуждения генератора. Нарастание напряжения $U_{Г}$ на выходе якорной обмотки ОГ при этом осуществляется по линейному закону, поскольку генератор выполняется ненасыщенным. При этом обеспечивается оптимальный процесс заряда ЕНЭ, так как потери энергии минимальны из-за отсутствия токоограничивающих сопротивлений в цепи заряда. Уровень заряда конденсаторов до напряжения U_{C} задается уставкой его на реле напряжения KV, катушка которого питается от обмотки ОГ генератора через трансформатор напряжения T1. При достижении заданного уровня напряжения на конденсаторах накопителя срабатывает реле напряжения KV. Этот момент соответствует точке 2 на временной диаграмме напряжений. Реле замыкает одновременно свои контакты KV1.2 в цепи катушки промежуточного реле К и контакты KV1.1 в цепи первичной обмотки импульсного трансформатора T5. При замыкании этого контакта предварительно заряженный конденсатор C3 разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора T5. При этом импульс напряжения вторичной обмотки трансформатора, поступая на поджигающий электрод тиристора VT2, открывает его. Предварительно заряженный, конденсатор C1 разряжается через открытые тиристоры VT1 и VT2, создавая ступеньку нулевого тока в тиристоре VT1. При этом тиристор VT1 закрывается, преры-

вая самовозбуждение генератора. Обмотка возбуждения OB1 обесточивается. Генератор начинает развозбуждаться.

При замыкании контактов KV1.2 катушка промежуточного реле К получает питание через нормально замкнутые KT1.1 реле времени КТ. Включившись реле К через свои нормально разомкнутые контакты K1.1 становится на само питание и одновременно через контакты K1.2 запускает реле времени КТ, а разрывая контакты K1.3 отключает реле напряжения KV. Реле КТ начинает отсчет некоторого установленного на нем начального времени развозбуждения генератора. Это соответствует отрезку времени от точки 2 до точки 3 на кривой напряжения развозбуждаемого генератора (рис.2).

По истечении установленного времени реле КТ замыкает свои контакты KT1.2 в цепи первичной обмотки импульсного трансформатора T7 и размыкает контакты KT1.1 в цепи катушки промежуточного реле К. При этом предварительно заряженный конденсатор C7 через кратковременно замыкающиеся контакты разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора T7. Поджигающий импульс напряжения вторичной обмотки трансформатора открывает тиристор VT4 в цепи обмотки электродинамического привода быстродействующего коммутационного аппарата КА. Заряженный конденсатор C6 разряжается на обмотку коммутационного аппарата привода его действие. Отделители быстродействующего коммутационного аппарата при этом отключают конденсаторы С емкостного накопителя энергии от генератора.

Поскольку э.д.с. генератора к этому времени меньше напряжения на конденсаторах накопителя отключение их от якорной обмотки с помощью отделителей происходит без дуги. (Точка 3 на кривой напряжения развозбуждаемого генератора). В это же время реле КТ размыкает контакты KT1.1, обесточивая промежуточное реле К, что приводит схему в исходное состояние. После перемены полярности четных конденсаторов с помощью опрокидывающих диодов возможен сброс заряда накопителя на нагрузку. Затем цикл может быть повторен [3].

Литература:

1. Чиженко И.М., Бердинских Г.С., Зарядные устройства емкостных накопителей энергии. Киев, Наукова думка, 1980, 148 с.
2. Бут Д. А., Алиевский Б. Л., Мизюрин С. Р., Васюкевич П. В. Накопители энергии. М.: Энергоатомиздат, 1991г.
3. Автономный высоковольтный комплекс. Попов В.И. №57532 Гос. реестр полезных моделей РФ, 10 октября 2006г.

ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Попов В.Ю.

Научный руководитель: Баранов П.Р., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: modernwarlock@mail.ru

Создание серий асинхронных двигателей с тормозными устройствами (АД с ТУ) – сложная научно-техническая задача, связанная с выбором направления при проектировании, с большими материальными затратами, с созданием и освоением нового технологического оборудования, с качеством продукции и эксплуатационными издержками у потребителей [4].

Целью данной работы является выбор перспективных технических решений при проектировании тормозных устройств асинхронных двигателей. Причем технические решения должны отвечать требованиям серийного производства.

К настоящему времени разработано и освоено более 45 различных конструкционных разновидностей АД с ТУ: с гидравлическим, центробежным, винтовым, магнитогидравлическим приводом механического тормоза, с растормаживающими электромагнитами переменного и постоянного тока, широко применяются самотормозящиеся асинхронные двигатели [2,3]. Каждая из этих конструкций является оптимальной для выполнения определенного круга задач [3].

Таким образом, для достижения высокого технического уровня и конкурентоспособности АД с ТУ необходимо определить тип конструкции, который позволит комплексно реализовать повышение технико-экономических показателей АД, механического тормоза и его привода. Снижение стоимости и трудоемкости изделия, как известно, связано с необходимостью механизации и автоматизации серийных методов производства. Этому способствуют принципы конструктивно-технологического подобию, которые должны быть заложены при проектировании серий АД с ТУ.

Учитывая изложенное можно сформулировать требования, предъявляемые к перспективным сериям АД с ТУ:

1. Максимальная унификация узлов АД с базовой серией. Допускаются незначительные доработки подшипникового щита со стороны вентилятора, вала, кожуха.

2. Унификация тормозного устройства для всех возможных климатических и конструкционных модификаций электродвигателя.

3. Конструкция тормоза должна быть нормально замкнутая: при подключении двигателя к сети фрикционные поверхности тормоза размыкаются под действием привода, а при отключении должны замыкаться под действием пружин и фиксировать ротор.

4. Простота конструкции, минимальные габариты, масса, стоимость АД с ТУ.

5. Высокая надежность и долговечность (1 – 2 млн. циклов торможений).

6. Высокие динамические показатели привода тормоза: при включении время разгона двигателя должно быть практически таким, как и у двигателя базовой серии; при отключении- задержка тормоза не должна превышать 0,2 секунды.

7. Энергетические показатели АД должны быть на уровне двигателя базовой серии.

8. Плавность торможения при высокой кратности тормозного момента (не менее 2Мн).

9. Конструкция тормоза должна обеспечивать возможность замены деталей и регулировки рабочего зазора по мере износа фрикционных накладок при техническом обслуживании.

В настоящее время используется два типа механических тормозов: колодочные и дисковые. Как правило, конструкцию тормоза к двигателям мощностью более 20 кВт применяют колодочной. Работа данных тормозов характеризуется высокими линейными скоростями поверхности торможения, высокими усилиями и инерционными массами. При этом развитая поверхность охлаждения тормозного барабана обеспечивает приемлемые температуры нагрева фрикционных материалов. Недостатком же конструкции данных тормозов являются высокие габариты и масса. Дисковые же тормоза обеспечивают компактность и относительно малый расход материалов. Поэтому для электродвигателей до 20 кВт (высота оси вращения 50–160 мм) указанное преимущество обеспечивает доминирующее использование тормоза данного типа в современных тормозных устройствах асинхронных двигателей серийно выпускаемых как в нашей стране, так и за рубежом.

Анализ достоинств и недостатков того или иного технического решения АД со встроенным ТУ позволил исключить из дальнейшего рассмотрения конструкции, в которых управление тормозом осуществляется приводом с механическим усилителями, на основе гидротолкателей или специального двигателя, из-за их сложности, больших габаритов и стоимости.

С точки зрения серийного производства наиболее приемлемыми конструкциями обладают асинхронные двигатели с электромагнитным приводом тормозного устройства [1-3]. Данный тип двигателей в технической литературе еще называют «тормозные двигатели». Разработку и изготовление серий асинхронных двигателей с электромагнитным приводом тормозного устройства (АД с ЭМ-ТУ) осуществляют электромашиностроительные предприятия нашей страны [1,3] и за рубежом [1].

Данный тип двигателя можно разделить на две большие группы. К первой группе относятся так называемые «самотормозящиеся» асинхронные двигатели, в которых управление тормоза осуществляется магнитным полем АД. Ко второй группе относятся двигатели, в которых привод тормозного узла выполнен на базе специального встроенного электромагнита [1,5].

К достоинству «самотормозящихся» двигателей можно отнести:

-возможность создания АД с ЭМТУ практически в габаритах двигателя основного исполнения;

-защищенный от воздействия внешней среды привод тормоза;

-отсутствие дополнительных комплектующих (полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов).

К недостаткам «самотормозящихся» двигателей следует отнести:

-снижение энергетических и пусковых характеристик по сравнению с аналогичными двигателями без тормоза;

-разунификация ротора по сравнению с базовой серией;

-недостаточная величина тягового усилия в многоскоростных двигателях с числом полюсов более восьми.

Перечисленные недостатки не позволяют применять «самотормозящиеся» двигатели в качестве основной конструкции при создании перспективной серии АД с ЭМТУ.

В зависимости от рода тока различают АД с ЭМТУ с растормаживающим электромагнитом переменного и постоянного тока. К последним принято также относить электромагнитный привод, питание которого осуществляется с помощью выпрямителя.

Растормаживающий электромагнит переменного тока отличается простотой схемы подключения (нет дополнительных комплектующих элементов), высоким быстродействием и относительно малыми габаритами. Однако в последние годы наметилось снижение объема выпуска АД с ЭМТУ с таким приводом, обусловленное следующими недостатками по сравнению с электромагнитами постоянного тока:

-ток в катушке электромагнита зависит от величины воздушного зазора между якорем и сердечником и при пуске достигает 15-30 кратного значения, что приводит к большим динамическим усилиям и сокращению срока службы ЭМТУ;

-шихтовка магнитопровода усложняет технологию изготовления и ослабляет конструкцию ЭМТУ;

-тяговая характеристика электромагнита не согласована с характеристикой пружины.

С развитием полупроводниковой техники большое распространение получили электромагниты с выпрямителями. Они обеспечивают унификацию питающей сети. В этих электромагнитах нарастание тока более плавное, нет резких ударов и толчков из-за наличия вихревых токов в переходных процессах. Однако габариты электромагнитов велики, а скорость срабатывания недостаточно высока [1,5].

Наиболее приемлемым компромиссным вариантом при создании электромагнитного привода тормоза является использование специальных схем форсировки пускового тока растормаживающего электромагнита [1,5]. Электромагниты с форсированным пусковым током объединяют достоинства электромагнитов переменного тока (быстродействие, малые габариты, мощность) и электромагнита постоянного тока (согласование тяговой характеристики с нагрузочной, простота технологии и надежность, плавное срабатывание) за счет некоторого усложнения схемы внешнего подключения и увеличения ее стоимости. Это направление в настоящее время становится одним из основных при создании АД с ЭМТУ.

Следовательно, принимая во внимание возможность унификации ротора и статора АД, минимальные габариты, потребляемая мощность и надежность ЭМТУ, можно заключить, что наиболее полно удовлетворяет требованиям серийного производства АД с ЭМТУ, в которых привод тормоза осуществляется электромагнитом постоянного тока с форсировкой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гусельников Э.М. Перспективы развития асинхронных двигателей со встроенным тормозным устройством/Электротехника.-1976.-№6. С.44-47.
2. Гусельников Э.М., Баранов П.Р. Тормозное устройство для асинхронных двигателей/Электродвигатели переменного тока подъемно-транспортных механизмов: Тез. докладов Всесоюз. науч.-техн. совещания, г. Суздаль, апрель 1988.-Владимир:ВНИПТИЭМ, 1988. – С.34-35.
3. Гусельников Э.М., Цукерман Б.С. Самотормозящиеся электродвигатели. – М.:Энергия, 1971. -96 с.
- 4.Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. –М.: Энергия, 1978. - 480 с.
5. Выбор схемы электромагнита для тормозных электродвигателей/В.С. Гринберг, Э.М. Гусельников, В.В. Соленков/Конструирование и надежность электрических машин. –Томск: Изд-во ТГУ, 1978. –с.17-21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ИЗОЛЯТОРА ДУГОГАСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ВГТ-220 НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Сабирджанов Р.М.

Научный руководитель: Богданов Е.П., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Rustamka@sibmail.com

Влияние формы изолятора дугогасительного устройства (ДУ) выключателя ВГТ-220 на распределение электрического поля исследовалось путем сравнения результатов расчета электрического поля в ДУ с цилиндрическим изолятором и бочкообразным. При расчете использовался чертеж ДУ выключателя ВГТ-220 с применением программы Comsol. На его основе была сформирована модель, с помощью которой производился расчет.

Формирование модели представлено на примере ДУ ВГТ-110. На рис. 1. представлен разрез ДУ автокомпрессионного типа ДУ ВГТ-110 с изолированным корпусом. Таким же ДУ обладает и выключатель ВЭБ-110, корпус которого находится на потенциале земли.

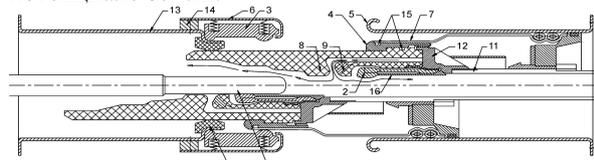


Рис.1. ДУ выключателя автокомпрессионного типа (ВГТ-110).

Рассматриваемое ДУ имеет: неподвижный и подвижный контакты; главные контакты 3 и 4; экраны 5 и 6; диэлектрические сопла 8 и 9; втулка 16 для защиты контакта от эрозии под действием электрической дуги; 7 и 13 – тоководы; 10 – направляющее изоляционное кольцо; 11 – металлическая часть тяги; 12 – деталь, служащая для закрепления деталей 2, 4, 11, 16; 14 – металлическое кольцо крепления экрана 6.

Конструкции различных изготовителей отличаются геометрическими размерами элементов ДУ, начальным давлением заполнения, скоростью движения контактов, а также способом организации автогазового дутья с помощью подвижного поршня и подвижного цилиндра.

Последняя из особенностей ДУ оказывает также влияние на формирование электрического поля в межконтактном промежутке. По ряду важных для конструирования параметров система с подвижным поршнем оказывается предпочтительной. К этим параметрам относятся, прежде всего, снижение массы движущихся элементов, а также простота и технологичность конструкции. Система ДУ с движущимся поршнем традиционно используется в конструкциях выключателей на сверхвысокие напряжения. Рассматриваемое ДУ имеет такую конструкцию. В конструкции с движущимся поршнем экран 5 неподвижен, его экранирующая роль существенна при полностью разомкнутых

контактах, однако, значительно менее эффективна при меньших расстояниях между контактами, характерных для отключения емкостных токов. Таким образом, в конструкции с подвижным поршнем формирование электрического поля у торца подвижного контакта определяется главным образом формой самого контакта и длиной межконтактного промежутка, и в меньшей степени – наличием внешних экранов.

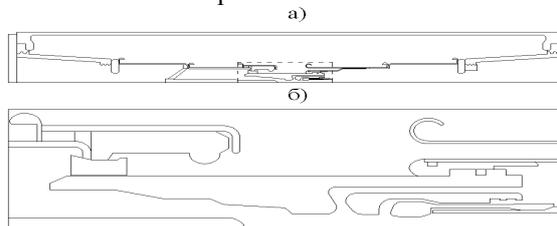


Рис. 2: а) модель ДУ выключателя ВЭБ-110; б) межконтактный промежуток.

При расчете электростатического поля приняты некоторые упрощения. Прежде всего, из чертежа (см. рис. 2) необходимо удалить все элементы, не влияющие на картину поля в ДУ. Удалены элементы, находящиеся за пределами бака (система подогрева элегаза, передаточный механизм, крепежные детали и т.д.). Убираются вводы выключателя. Считается, что они не оказывают воздействие на поле в межконтактном промежутке. Отверстия от вводов не учитываются, стенка бака принимается сплошной. Удаляются все инженерные линии, осевые линии, штриховки.

Т.к. решаемая задача построения поля осесимметричная, то аннулируется часть выключателя, что находится ниже осевой линии бака. Также, в связи с осесимметричностью задачи удаляются элементы ДУ, которые могут внести неясности в модель (например, отверстия в опорных изоляторах, дутьевые отверстия в малом сопле).

В итоге получается модель ДУ выключателя с заземленным баком для расчета электростатического поля (рис. 3).

Для создания модели выключателя с изолированным баком принимается, что на электрическое поле внутри корпуса не влияют соседние фазы выключателя. Также исключается воздействие токоведущих шин, присоединенных к выводам выключателя

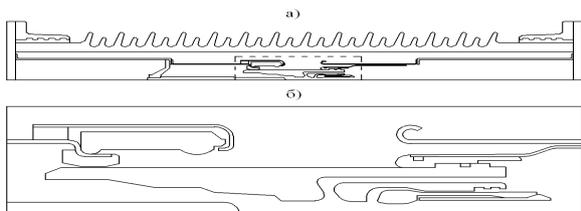


Рис.3: а) модель ДУ выключателя ВГТ-110;
б) межконтактный промежуток.
Полученные модели и результаты расчетов:

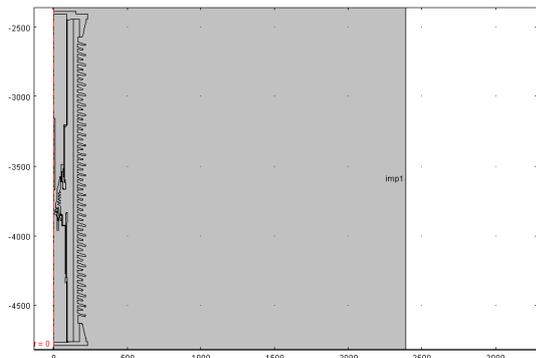


Рис. 4. Межконтактный промежуток ДУ с цилиндрическим изолятором, представленный в программе Comsol

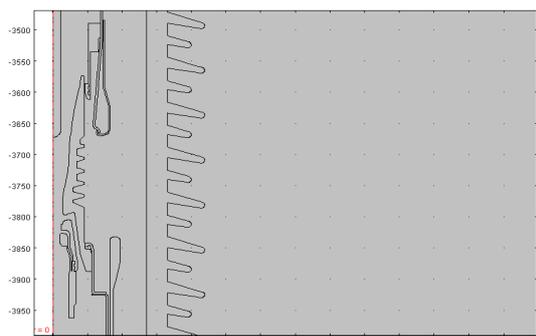


Рис.4. Межконтактный промежуток ДУ с цилиндрическим изолятором, представленный в программе Comsol.

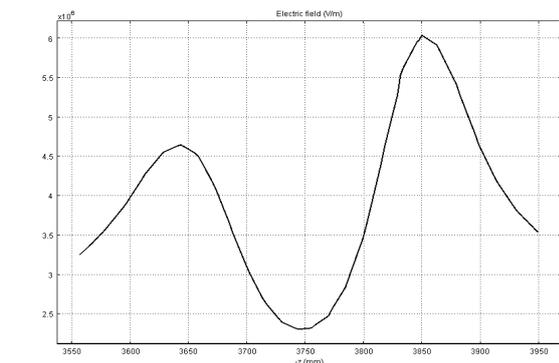


Рис. 5. Графическое представление распределения электрического поля (его напряженности) в межконтактном промежутке ДУ с цилиндрическим изолятором

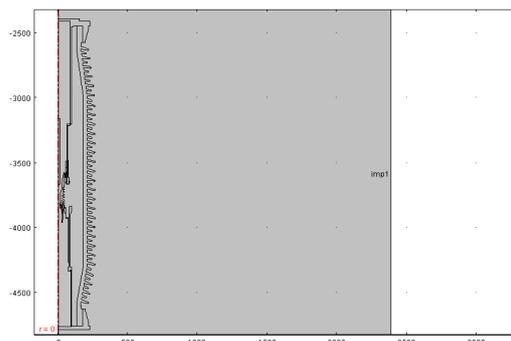


Рис. 6. Модель ДУ выключателя ВГТ-220 с бочкообразным изолятором, представленная в программе Comsol

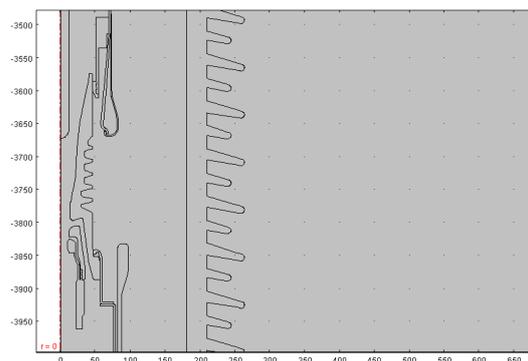


Рис.7. Межконтактный промежуток ДУ с бочкообразным изолятором, представленный в программе Comsol

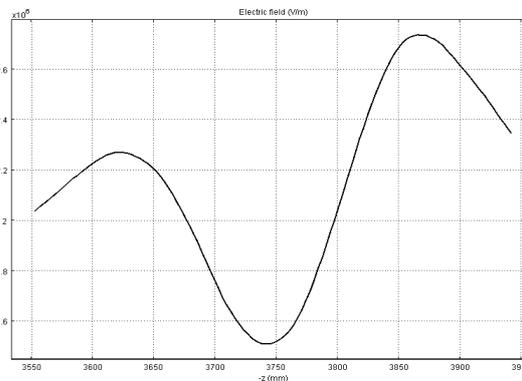


Рис. 8. Графическое представление распределения электрического поля (его напряженности) в межконтактном промежутке ДУ с бочкообразным изолятором

Выводы по итогам расчетов: максимальное значение напряженности в межконтактном промежутке дугогасительного устройства с бочкообразным выключателем в 2,3 раза меньше, чем с цилиндрическим изолятором. Уменьшение напряженности влечет за собой увеличение значения пробивного напряжения данного промежутка, что улучшает характеристики внутренней изоляции дугогасительного устройства ВГТ-220. Это обеспечивает более надёжную работу дугогасительных устройств напряжением 220 кВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Стругов В.В.

Научный руководитель: Качин О.С., доцент каф. ЭПЭО

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: sv.altai@sibmail.com

В настоящее время значительно выросло число потребителей и это негативно отражается на питающей сети. Для повышения качества электроэнергии используют стабилизаторы напряжения. Использование стабилизаторов напряжения значительно улучшает качество напряжения и как следствие продлевает срок службы оборудования и защищает от пожаров. В связи с этим, разработка стабилизатора напряжения является наиболее актуальной темой.

Если свести к минимуму всю техническую терминологию, описывающую принцип работы стабилизатора напряжения, то можно сказать, что это прибор, электронная схема которого, трансформирует любое входное напряжение (низкое или высокое) в 220 Вольт на выходе.

Существует несколько типов стабилизаторов, но наиболее широко распространены:

- ступенчатые (релейные);
- феррорезонансные;

- электромеханические.

В домашних условиях стабилизаторы напряжения нормализуют работу и предохраняют вашу бытовую технику (холодильник, компьютер, телевизор, электрическую плиту или кондиционер) от перепадов напряжения. Для дома используют однофазный стабилизатор, использование которого может значительно продлить срок эксплуатации и службы электробытовых приборов. Он служит для экономии электричества и повышает эффективность работы любых бытовых приборов, т.к. автоматически отслеживает колебания уровня входного напряжения. Это защищает всё электрическое оборудование вашего дома от угрозы нестабильного напряжения.

В результате проведенной работы был разработан стабилизатор напряжения, удовлетворяющий ряду требований: выходное напряжение должно поддерживаться на уровне $220V \pm 10\%$, ГОСТ 13109-97, мощностью 4 кВт.

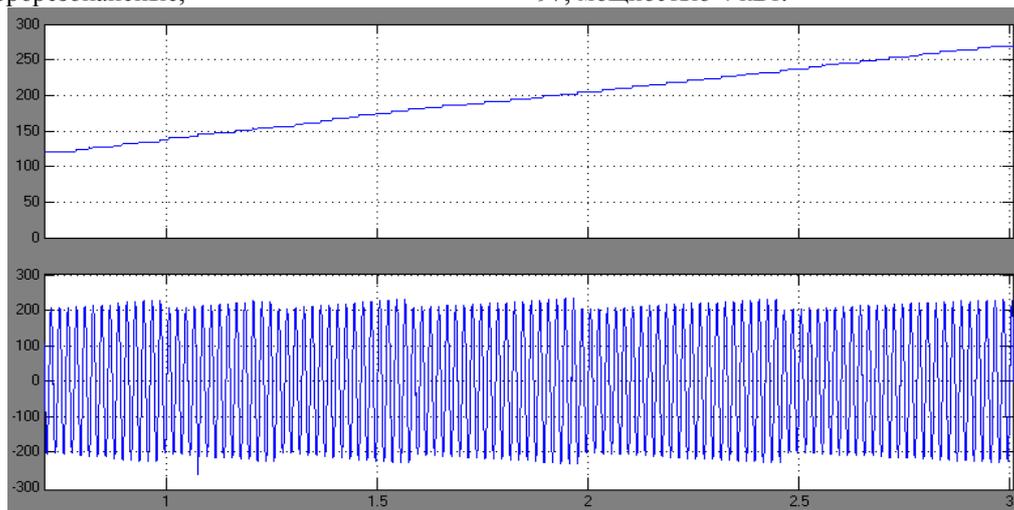


Рис. 1. Зависимость напряжения от времени

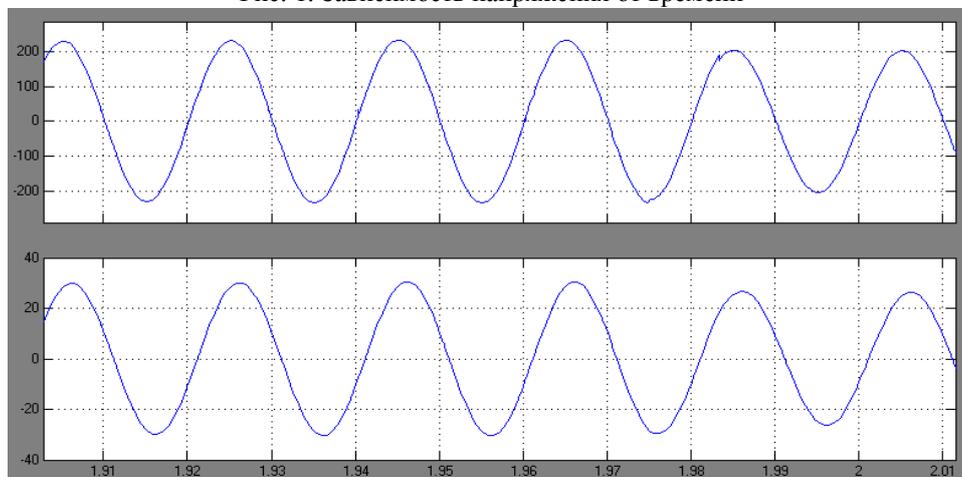


Рис. 2. Зависимость напряжения и тока от времени при активно-индуктивной нагрузке

На рисунке 2 представлены кривые напряжения и тока при активно-индуктивной нагрузке, $P=6$ кВт, $Q=2$ кВар. На графиках наблюдается от-

ставание напряжения от тока по фазе. Это обуславливается тем что в индуктивности ток не может изменяться скачком.

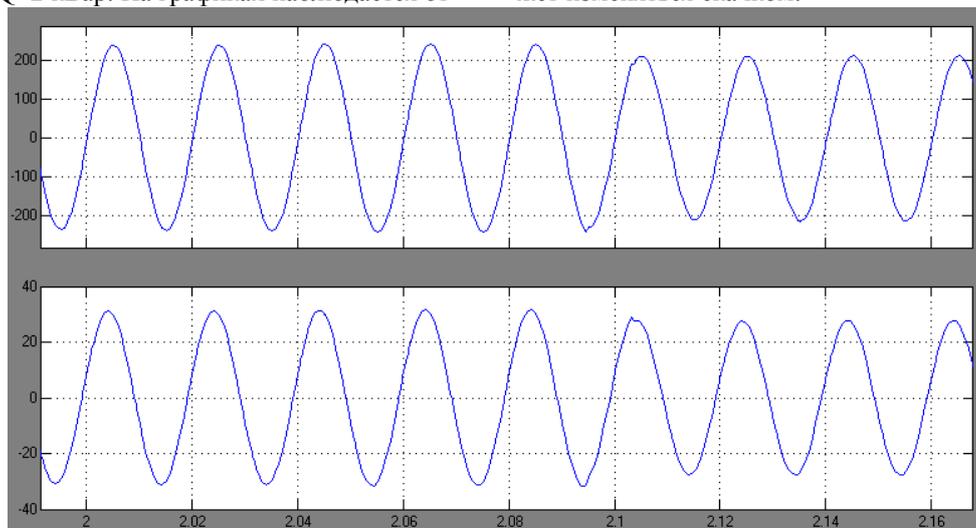


Рис. 3. Зависимость напряжения и тока от времени при активно-ёмкостной нагрузке

На рисунке 3 представлены кривые напряжения и ток при нагрузке активно-ёмкостной, $P=6$ кВт, $Q=2$ кВар. На графиках наблюдается отставание тока от

напряжения по фазе. Это обуславливается тем что в ёмкость накапливает энергию быстро и отдает с некоторой задержкой.

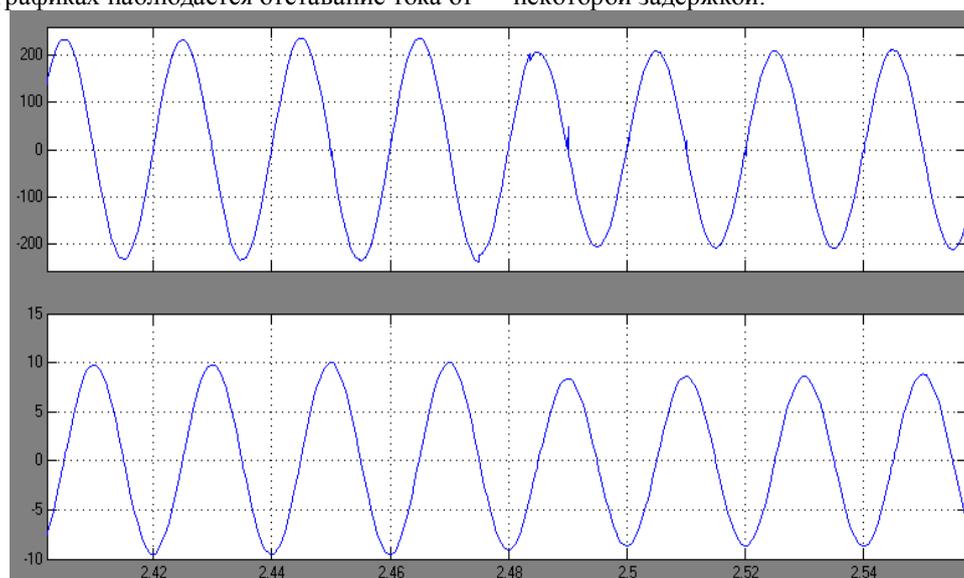


Рис. 4. Зависимость напряжения и тока от времени при индуктивной нагрузке

На рисунке 4 представлены кривые напряжения и ток при нагрузке ёмкостной, $Q=2$ кВар. На графиках наблюдается отставание напряжения от тока по фазе. Это обуславливается тем что в индуктивности ток не может изменяться скачком. Как видно из графиков угол отставания составляет 90 градусов.

В ходе моделирования, стабилизатора напряжения, были исследованы различные виды нагрузок. Полученные результаты совпадают с теорией. Необходимо обратить внимание на переход с одной ступени на другую при реактивной нагрузке, переключения должны выполняться при переходе тока через ноль, что бы избежать короткого замыкания.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПЛАСТИНЫ НА ВИД СИЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Татарникова К.А., Екимова О.Ю.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kris-90@yandex.ru

Изучение характера протекания электрического тока по пластине является прикладной задачей, связанной с исследованием характеристик магнитоэлектрического моментного двигателя, конструкция которого предложена сотрудниками и студентами кафедры точного приборостроения ТПУ [1-5].

Полный ток, протекающий по пластине, является распределенным. Считаем, что пластина выполнена из однородного материала и имеет во всех ее точках одинаковую толщину. Вид линий тока приведен на рис.1, который получен с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics. В каждой точке M_i пластины элемент тока J_{Mi} имеет две компоненты: продольную J_{Mix} и поперечную J_{Miy} .

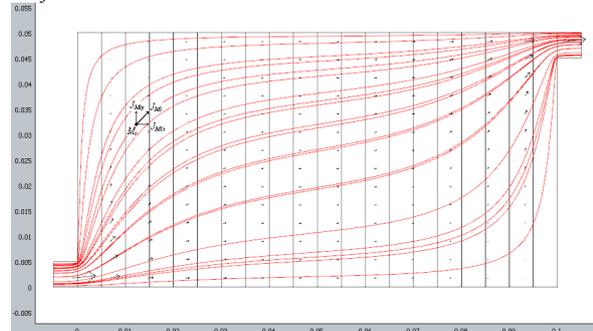


Рис.1 Распределенный ток, протекающий по пластине

Если рассмотреть суммарное действие таких компонент, находящихся в зоне действия потока постоянного магнита, направленного нормально к поверхности пластины, то ток $J_x = \sum_{i=1}^n J_{Mix}$ вызовет

механическую силу F_y , действующую вдоль оси Oy (поперек пластины), а ток $J_y = \sum_{i=1}^n J_{Miy}$ вызовет силу

F_x , действующую вдоль пластины. При соответствующем выборе конструкции исполнительного элемента (двигателя) сила F_x будет являться основной, определяющей характеристики последнего, а сила F_y будет действовать только в опорах подвеса подвижной части (ротора). В дальнейшем будем рассматривать только действие силы F_x и вызвавшего ее тока J_y , который в дальнейшем будем называть “поперечным”.

Известно, что характер распределения тока по пластине находится решением уравнения в частных производных. В настоящее время такой результат можно получить при помощи программных продуктов, использующих метод конечных элементов, например COMSOL Multiphysics. Указанный программный продукт позволяет численно оценить не только характер распределения по пла-

стине компонент плотности тока, но также осуществить их интегрирование по выделенным областям.

В процессе аналитических компьютерных исследований задавалась геометрия реальной пластины, являющейся одной из составных частей пакета активного элемента двигателя. Это геометрическое описание пластины составлялось из отдельных подобластей, объединяя которые, можно моделировать взаимное расположение магнита относительно пластины (рис.2).

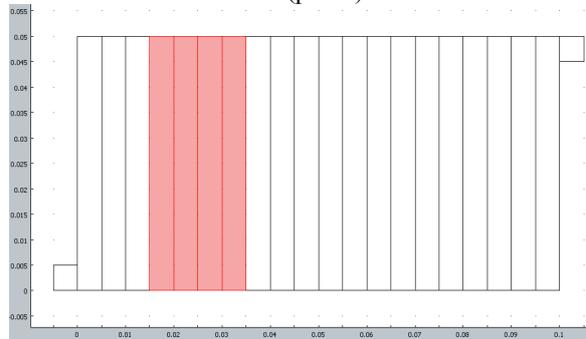


Рис.2 Характер разбиения пластины на подобласти интегрирования

В результате интегрирования и последующей обработки результатов получена зависимость распределения усилия, создаваемого взаимодействием распределенного по пластине тока и постоянного магнита – источника магнитного поля (рис.3).

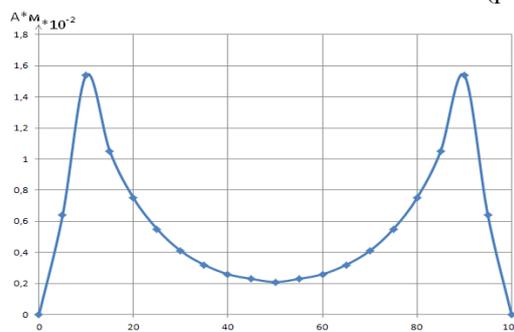


Рис.3 Силовая характеристика сплошной пластины

Эта зависимость соответствует аналогичным, полученным ранее как экспериментальным [3], так и аналитическим путем [4]. В практических целях характеристика такого вида не всегда будет целесообразной. Желательно иметь возможность получения такой функциональной зависимости, которая наиболее удовлетворяет решению конкретной задачи. В частности, в работах [4,6] экспериментально показано, что с помощью боковых вырезов в пластине можно изменять вид силовой характеристики. Воспользуемся таким приемом и получим рекомендации для определения параметров

вырезов с целью получения заданной силовой характеристики.

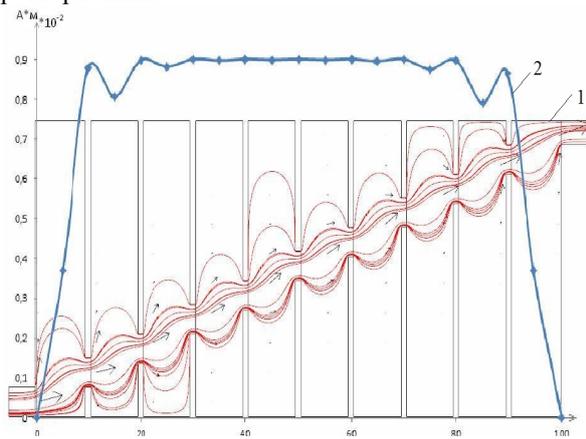


Рис.4 Силовая характеристика с диагональным направлением токовых линий

На рис.4 показана зависимость силовой характеристики при наличии 9 вырезов, которые обеспечивают концентрацию линий тока в диагональном направлении. На этом рисунке линиями 1 показаны контур пластины, линией 2 — силовая характеристика.

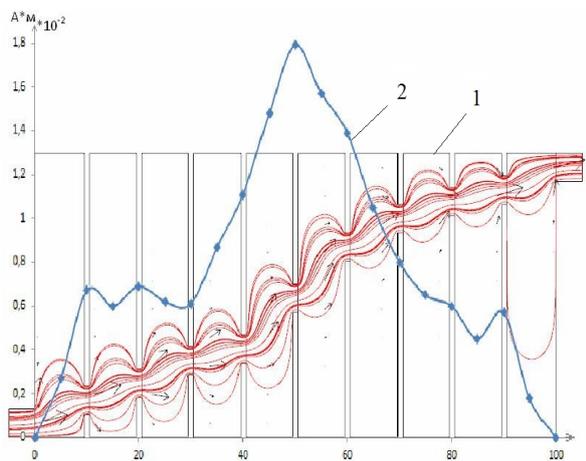


Рис.5 Силовая характеристика с функциональным распределением токовых линий

Аналогично, на рис.5 показана силовая характеристика при наличии 9 вырезов, которые формируют несколько иное направление протеканий линий тока. Отличие заключается в том, что соотношение длин вырезов обеспечивает более крутую траекторию протекания тока в центре пластины.

Линия 1 показывает контур пластины, линия 2 — силовую характеристику.

Анализ силовых характеристик показывает, что на рис.3 силовая характеристика сплошной пластины имеет неравномерный характер распределения, что является не целесообразным. С помощью боковых вырезов, на рис. 4 характеристика имеет более равномерный характер на большей длине пластины. Рис.5 показывает, что резкое изменение траектории протекания тока приводит к интенсивному скачку силовой характеристики в центре пластины.

Во всех рассмотренных случаях, по краям пластины силовая характеристика имеет нулевое значение, т.к. при построении этой характеристики предполагалось, что слева и справа находятся другие аналогичные пластины, у которых «поперечные» токи имеют противоположное направление.

Проведенные аналитические исследования показали практическую возможность реализации желаемой функциональной зависимости силовой характеристики.

Литература:

1. Моментный двигатель. Патент РФ № 2378755: МПК H02K/26/00/ В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников, Е.Н. Горячок; опубл. 10.01.10. Бюлл. № 1.
2. Моментный двигатель. Патент РФ № 2441310: МПК H02K 26/00/ В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова; опубл.27.01.12. Бюл. №3.
3. Линейный двигатель с активным пакетным элементом/А.Г. Иванова, В.М. Мартемьянов, И.А. Плотников// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010, № 11.
4. Силовая характеристика линейного двигателя с активным пакетным элементом /А.Г. Иванова, В.М. Мартемьянов, Т.Г. Нестеренко, И.В. Плотникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011, № 7.
5. Активный элемент моментного двигателя/ В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова //Контроль. Диагностика. 2011. специальный выпуск.
6. Экспериментальные исследования моментного двигателя с ленточной обмоткой/О.Ю. Екимова, А.Г. Иванова, К.А. Татарникова// Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 6-ти частях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.

РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Терехина О.В.

Научный руководитель: Качин О.С., доцент каф. ЭПЭО
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: terehina89@sibmail.com

Поскольку современное электронное оборудование достаточно дорого, а также наиболее подвержено губительному воздействию помех по входному напряжению, возникает необходимость защитить это оборудование от подобного рода воздействий. Поэтому актуальность разработки и совершенствования стабилизаторов переменного напряжения не вызывает сомнений.

Количество приборов потребляющих электроэнергию в нынешнем мире комфорта постоянно растет, и как следствие из этого, в электрических сетях, особенно созданных много лет назад, периодически могут возникать проблемы. Например, выходы из строя дорогостоящей техники ввиду скачков напряжения или удара молнии, либо вследствие пониженного уровня напряжения в сети, что нередко наблюдается в пригородных и отдаленных районах.

И в связи с этим актуальность стабилизаторов напряжения в последнее время очень возросла.

Если свести к минимуму всю техническую терминологию, описывающую принцип работы стабилизатора напряжения, то можно сказать, что это прибор, электронная схема которого, трансформирует любое входное напряжение (низкое или высокое) в 220 Вольт на выходе.

Существует несколько типов стабилизаторов, но наиболее широко распространены:

- ступенчатые (релейные);
- феррорезонансные;
- электромеханические.

Разработанный стабилизатор напряжения можно использовать в сельской местности и для коттеджей. В частных домах намного чаще отмечаются скачки напряжения, в результате чего: при пониженном напряжении растет расход электричества, сильно возрастают затраты; при резких повышениях высока вероятность выхода из строя бытовой техники.

На дачах, в коттеджах часто установлены котлы, подогреваемые полы и крыши, однако нахождение подобных загородных домов вдали от модернизированных линий электропередач, может повлечь к поломке этого дорогостоящего оборудования. Подключение домов к старым линиям электропередач делает установку стабилизаторов напряжения в них абсолютно необходимой нормой. К тому же стоит заметить, что импульсный скачок может привести к возгоранию электробытовых приборов, и, как следствие, к пожару, особенно в деревянных домах. Стоит также отметить, что в современной линейке стабилизаторов для дома представлены модели небольшого размера, включая настенные, не нарушающие гармонию и стиль Вашего дома большими габаритами или заводским видом.

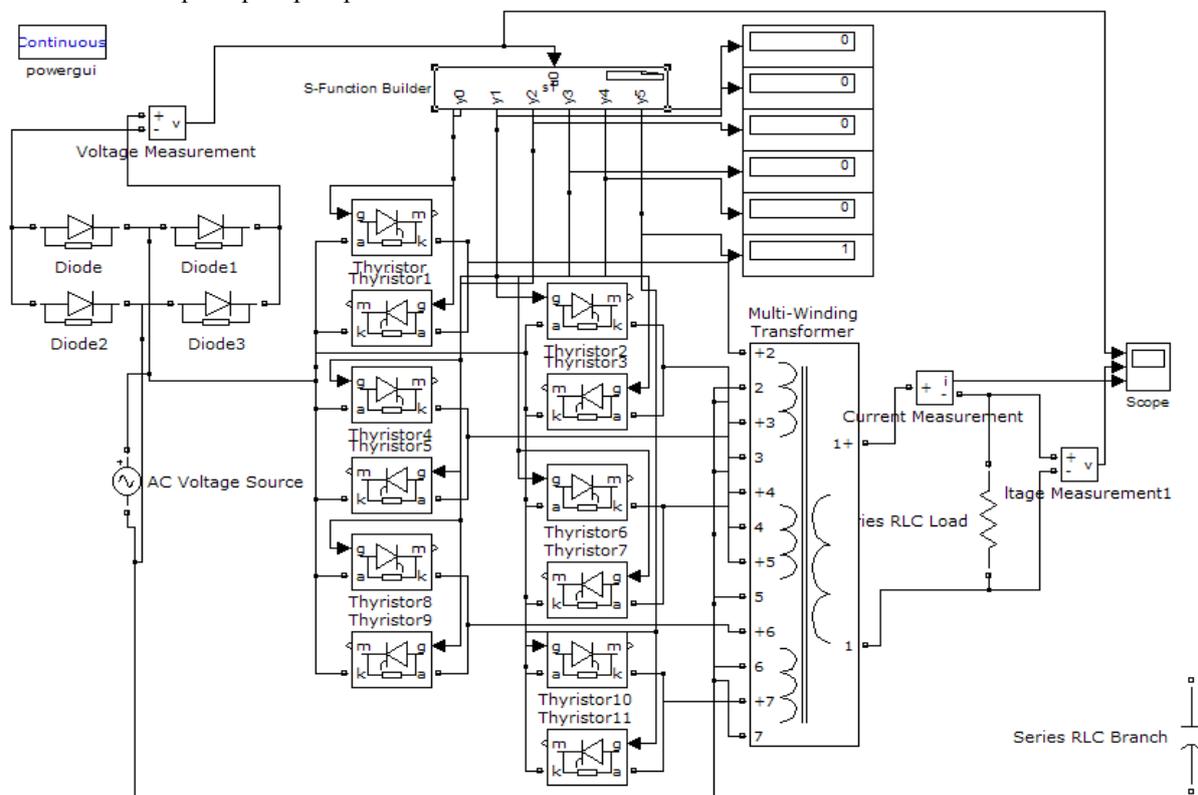


Рис. 1. Модель стабилизатора напряжения

Давно миновали времена, когда наличие компьютера в доме могло кого-то удивить. Сегодня в каждой семье есть компьютеры, а поскольку этот прибор все чаще выступает в роли не семейного, а индивидуального, то одним компьютером в доме тоже редко кто обходится. Тем не менее, скачки напряжения никто не отменял, и такая тонкая, высокотехнологичная техника, как компьютер, серьезно от них страдает. Несохраненная работа, важные документы, драгоценная информация - это то, чем мы рискуем, используя стационарный компьютер без стабилизатора напряжения. Лучше предусмотреть опасность заранее, чем покупать новый компьютер. Стабилизаторы напряжения - это проверенный способ обеспечения безопасности ваших электроприборов.

Разрабатываемый стабилизатор напряжения должен удовлетворять ряду требований: выход-

ное напряжение должно поддерживаться на уровне $220\text{В} \pm 10\%$, ГОСТ 13109-97, мощностью 4 кВт.

В результате проведенной работы был разработан стабилизатор напряжения, модель которого представлена на рисунке 1.

В процессе изменения входного напряжения, происходит переключения отводов трансформатора с помощью симисторов, управление которыми осуществляет микроконтроллер, отслеживая изменения напряжения на входе. Переключение происходит отводов входной обмотки трансформатора. Диапазоны напряжений на отводах трансформатора 1 отвод (120-137В), 2 отвод (137-157В), 3 отвод (157-179В), 4 отвод (179-205В), 5 отвод (205-235В), 6 отвод (235-270В). Если напряжение ниже 120 В или выше 270 Вольт, нагрузка обесточивается.

Как только напряжение войдет в диапазон 120...270В, нагрузка вновь будет подключена.

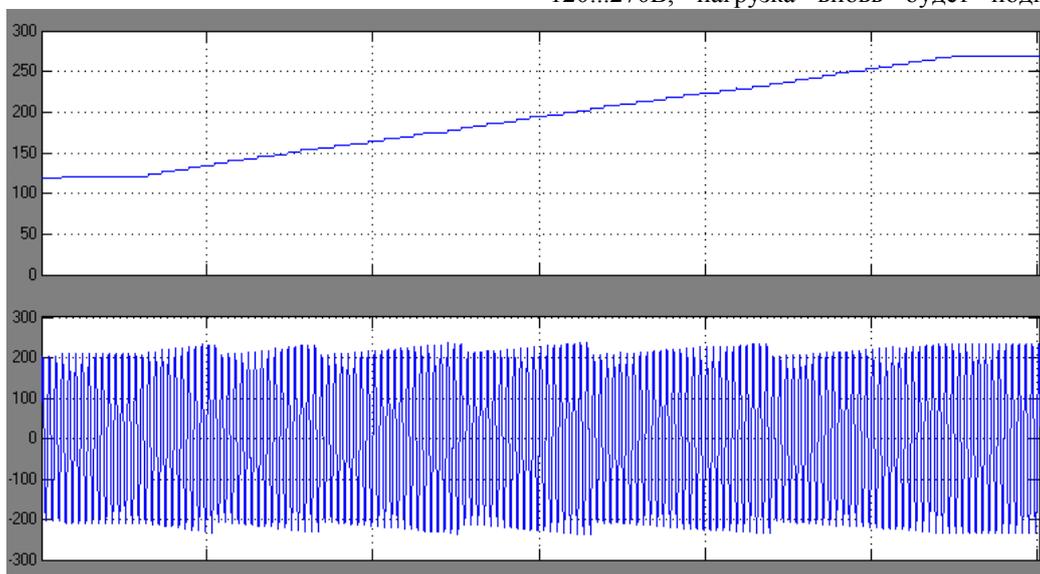


Рис. 2. Зависимость изменения напряжения от времени

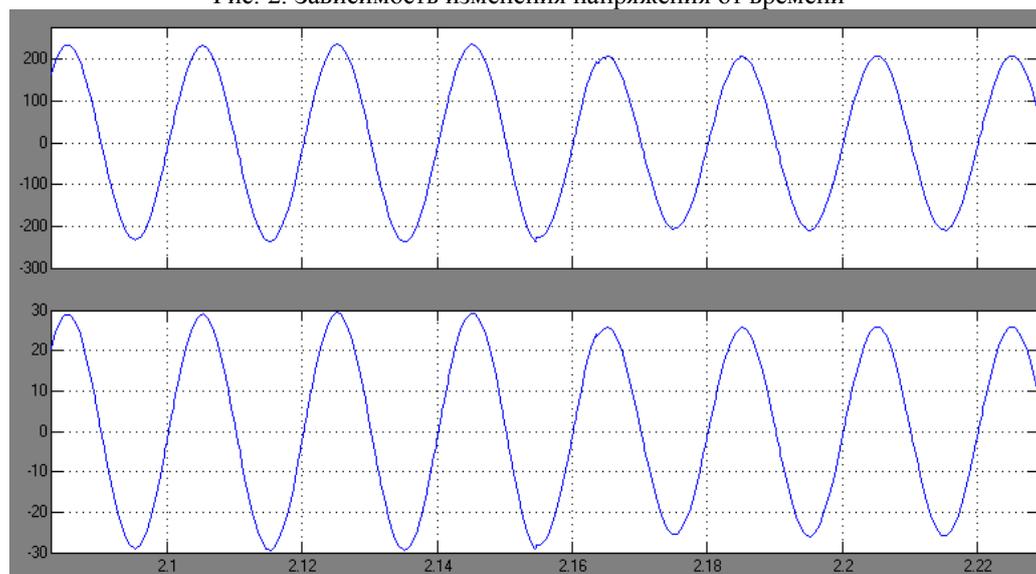


Рис. 3. Зависимость напряжения и тока от времени

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Тимошкин В.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н., доц.

Томский Политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30, т.563-255;

E-mail: timvv@sibmail.com

Введение. В ходе эксплуатации параметры электродвигателя могут варьироваться и не соответствовать паспортным. К основным причинам, в результате которых происходит изменение параметров, можно отнести уменьшение или увеличение температуры, изменение текущего состояния оборудования вследствие старения или возникновения какой-либо неисправности.

Если в первом случае идентификация параметров нужна для построения более эффективных законов управления, то во втором случае на основе полученных данных производится диагностика и выявление неисправностей оборудования на раннем этапе[1].

В настоящее время активно разрабатываются и внедряются методы, позволяющие производить идентификацию параметров электродвигателя по экспериментальным данным. К таким методам можно отнести: градиентные методы, метод наименьших квадратов, генетические алгоритмы.

Параметрическая идентификация параметров косвенными методами обычно используется в тех случаях, когда непосредственно установить параметры сложно или нет возможности[2].

Цель работы: проверка предложенного метода идентификации индуктивности, сопротивления якоря и момента инерции двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) по экспериментальным данным тока, скорости и входного напряжения.

Идентификация параметров ДПТ НВ строится на основе трех классических ПИ-регуляторов и математической модели электродвигателя. В качестве входных сигналов для регуляторов сопротивления и индуктивности применяется ошибка по току, а для регулятора момента инерции ошибка по скорости. Невязка вычисляется путем определения расхождения кривой рассчитанной на математической модели и кривой полученной экспериментальным путем.

Входные сигналы регуляторов умножаются на соответствующие масштабирующие коэффициенты, которые были определены в ходе эксперимента и представлены в таблице 1.

Для идентификации сопротивления якоря, индуктивности и момента инерции ДПТ НВ были выбраны следующие параметры регуляторов таблица 1, где k – коэффициент пропорциональной части, T – постоянная времени, M – масштабирующий коэффициент, который умножается на входной сигнал регулятора.

Таблица 1

	Рег. R(Ом)	Рег. L (Гн)	Рег. J (кг/м ²)

T,с	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$
k	$-2 \cdot 10^4$	$-2 \cdot 10^4$	$-2 \cdot 10^4$
M	10000	100	0.01

В ходе исследований было установлено, что масштабирующий M коэффициента влияет на диапазон идентифицируемых параметров, а T определяет скорость схождения и точность. При увеличении T скорость схождения уменьшается, но в тоже время возрастает точность.

Экспериментальная часть. Предварительно были сняты и записаны временные ряды тока, скорости, входного напряжения ДПТ НВ с реальной экспериментальной установки.

Обработка и исследование результатов производилось с помощью Matlab 2007b Simulink.

В ходе проведения исследований были получены результаты, которые представлены на рис.1-4.

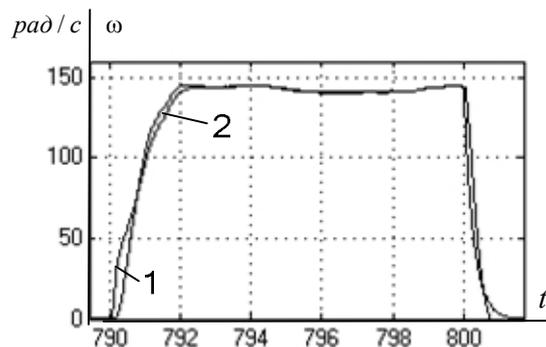


Рис. 1 Переходные процессы по скорости:
1 – экспериментальная, 2 – теоретическая

Идентификация параметров производилась с помощью ранее записанных данных в течение 57 циклов. В качестве критерия останова алгоритма идентификации был выбран момент расхождения кривой ошибки по скорости рис. 4

На рис.1 представлены переходные процессы по скорости. Качество полученных данных оценивалось с помощью формулы:

$$\sigma_0 = \frac{|\omega_{дв} - \omega|}{\omega_{дв}} 100\%,$$

где ω - скорость с математической модели ДПТ НВ, $\omega_{дв}$ - экспериментальные данные.

При анализе переходных процессов скорости было выявлено, что максимальная относительная ошибка σ_0 в момент пуска 8%, торможения 6%, при набросе нагрузки менее 1%.

На рис. 2 представлены переходные процессы по току. В момент пуска максимальная от-

носительная ошибка ω составляет около 30%, а в статике и при набросе нагрузки менее 3%.

Такая большая погрешность в момент пуска объясняется тем, что критерием останова идентификации параметров был выбран момент расхождения кривой ошибки скорости и также допущениями математической модели ДПТ НВ.

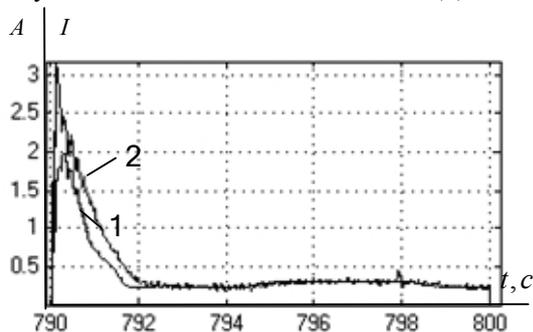


Рис. 2 Переходные процессы по току
1 – экспериментальная, 2 – теоретическая

Данный метод имеет сходимость, что иллюстрирует графики рис.3,4.

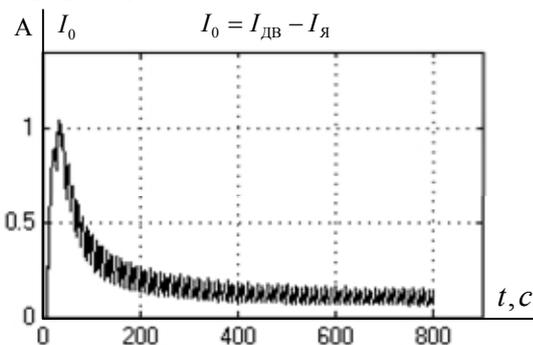


Рис. 3 Переходные процессы ошибки тока

Из рис. 3,4 видно, что наибольшей скоростью сходимости обладает кривая скорости, а наименьшей кривая тока.

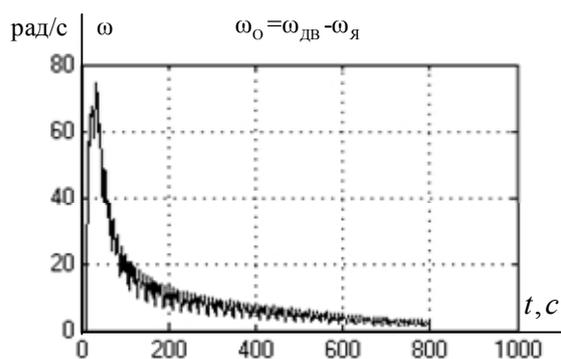


Рис.4 Переходный процесс ошибки по скорости
В ходе идентификации ДПТ НВ были получены следующие параметры таблица 2:

Таблица 2

L, Гн	R, Ом	J, кг м ²
12.3	81.25	0.01

Полученные данные являются параметрами схемы замещения ДПТ НВ.

Предложенный способ идентификации параметров ДПТ НВ является очень простым и в то же время эффективным. К основной сложности применения данного метода можно отнести определение первоначальных параметров регуляторов. В ходе исследования было установлено, что это не так сложно делается, так как подбираются только масштабирующие коэффициенты.

Закключение. Предложенный способ идентификации параметров является работоспособным и пригодным для практического применения.

Регуляторы позволяют производить идентификацию сопротивления, индуктивности, момента инерции ДПТ НВ достаточно в большом диапазоне без изменения их параметров.

Список литературы:

1. Rogozin G.G. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока. Новые экспериментальные методы. – К.: Техника, 1992. – 168 с.
2. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.ун-та, 2003. – 211 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Ткачук Р.Ю., Глазырин А.С.

Научный руководитель: Глазырин А.С., к.т.н, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: uat@sibmail.com

Введение

Предварительная идентификация параметров схемы замещения асинхронного двигателя (АД) имеет большое значение для настройки системы управления электропривода. Применение традиционных методов определения параметров АД не всегда возможно из-за необходимости создания режимов короткого замыкания и холостого хода. Методы глобальной оптимизации, такие как генетические алгоритмы (ГА), позволяют идентифицировать параметры АД по переходным характеристикам, полученным при работе двигателя в нормальном режиме (рис. 1).

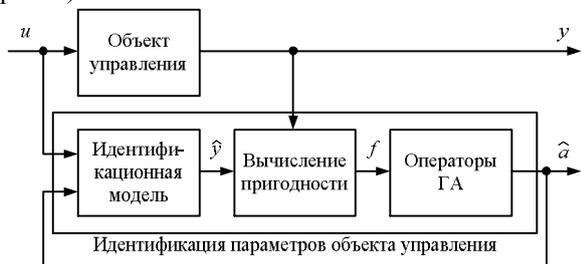


Рис. 1. Идентификация параметров объекта управления с применением ГА (u – вектор входных воздействий; y – вектор измеряемых переменных состояний; \hat{y} – вектор оценок измеряемых переменных состояний; f – значение функции пригодности; \hat{a} – вектор оценок параметров объекта управления)

Для работы с ГА воспользуемся набором инструментов *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox* программного пакета *MATLAB*, имитационное моделирование исследуемых динамических объектов осуществим в *Simulink*.

Идентификация параметров асинхронного двигателя

Для уменьшения количества аргументов целевой функции ГА проведем идентификацию электрических и механических параметров АД отдельно.

Для идентификации электрических параметров воспользуемся математической моделью:

$$\frac{d\hat{\mathcal{E}}_{1\alpha}(t)}{dt} = \frac{1}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1} U_{1\alpha}(t) - \frac{\mathcal{K}'_2}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1} \hat{\mathcal{E}}_{1\alpha}(t) + \frac{\mathcal{K}'_2 \mathcal{E}_m}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2} \hat{\Psi}_{2\alpha}(t) + \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2} z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\beta}(t);$$

$$\frac{d\hat{\mathcal{E}}_{1\beta}(t)}{dt} = \frac{1}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1} U_{1\beta}(t) - \frac{\mathcal{K}'_2}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1} \hat{\mathcal{E}}_{1\beta}(t) + \frac{\mathcal{K}'_2 \mathcal{E}_m}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2} \hat{\Psi}_{2\beta}(t) + \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2} z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\alpha}(t);$$

$$\frac{d\hat{\Psi}_{2\alpha}(t)}{dt} = -\frac{\mathcal{K}'_2}{\mathcal{E}_2} \hat{\Psi}_{2\alpha}(t) + \frac{\mathcal{K}'_2 \mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_2} \hat{\mathcal{E}}_{1\alpha}(t) - z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\beta}(t);$$

$$\frac{d\hat{\Psi}_{2\beta}(t)}{dt} = -\frac{\mathcal{K}'_2}{\mathcal{E}_2} \hat{\Psi}_{2\beta}(t) + \frac{\mathcal{K}'_2 \mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_2} \hat{\mathcal{E}}_{1\beta}(t) - z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\alpha}(t),$$

где $\mathcal{K}'_3 = \mathcal{K}'_1 + \mathcal{K}'_2 \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_2}$ – оценка эквивалентного

сопротивления, Ом; \mathcal{K}'_1 – оценка активного сопротивления обмотки статора, Ом; \mathcal{K}'_2 – оценка приведенного к статору сопротивления обмотки ротора, Ом; \mathcal{E}_1 – оценка эквивалентной индуктивности обмотки статора, Гн; \mathcal{E}_2 – оценка эквивалентной индуктивности обмотки ротора, Гн; \mathcal{E}_m – оценка индуктивности цепи намагничивания, Гн; $\mathcal{E} = 1 - \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2}$ – оценка коэффициента рассеяния;

z_p – число пар полюсов машины; $U_{1\alpha}(t)$, $U_{1\beta}(t)$ – составляющие напряжения статора в системе координат α, β , В; $\hat{\mathcal{E}}_{1\alpha}(t)$, $\hat{\mathcal{E}}_{1\beta}(t)$ – оценки составляющих тока статора в системе координат α, β , А; $\hat{\Psi}_{2\alpha}(t)$, $\hat{\Psi}_{2\beta}(t)$ – оценки составляющих потокоцепления ротора в системе координат α, β , Вб; $\omega(t)$ – угловая скорость вращения ротора электродвигателя, рад/с.

Определим \mathcal{K}'_1 , \mathcal{K}'_2 , \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , \mathcal{E}_m по переходной характеристике модуля вектора тока статора $I_1(t) = \sqrt{I_{1\alpha}(t)^2 + I_{1\beta}(t)^2}$ при пуске, набросе нагрузки, сбросе нагрузки и торможении двигателя. В качестве целевой функции ГА примем

$$f(\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_m) = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t) - \hat{I}_1(t, \mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_m)| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t)| dt},$$

где t_Σ – общее время переходных процессов, используемых для идентификации.

Определим механические параметры АД с помощью модели

$$\hat{M}_{эм}(t) = \frac{3\mathcal{E}_m}{2\mathcal{E}_2} z_p (\Psi_{2\alpha}(t)I_{1\beta}(t) - \Psi_{2\beta}(t)I_{1\alpha}(t));$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{\mathcal{J}_\Sigma} (\hat{M}_{эм}(t) - \hat{M}_c(t)),$$

где $\hat{M}_{эм}(t)$ – оценка электромагнитного момента двигателя, Н·м; $\hat{M}_c(t)$ – оценка момент статического сопротивления на валу двигателя, Н·м; \mathcal{J}_Σ – оценка момента инерции двигателя, кг·м².

Определим \mathcal{J}_Σ , \hat{M}_{c1} , \hat{M}_{c2} по переходной характеристике $\omega(t)$. В качестве целевой функции ГА примем

$$f(\mathcal{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}, \hat{M}_{c2}) = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t) - \hat{\omega}(t, \mathcal{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}, \hat{M}_{c2})| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t)| dt},$$

где \hat{M}_{c1} – оценка момент статического сопротивления до наброса нагрузки; \hat{M}_{c2} – оценка момент статического сопротивления после наброса нагрузки.

В табл. 1 приведены значения параметров АД, их оценки и погрешности оценивания.

Таблица 1. Результаты их идентификации параметров АД

Параметр	R_1 , Ом	R_2 , Ом	L_1 , Гн	L_2 , Гн
Фактическое значение	0,316	0,31	0,11	0,111
Оценка	0,316001	0,295	0,109	0,106
Погрешность, %	0,00025	4,76	0,0023	4,76
Параметр	L_m , Гн	J_Σ , кг·м ²	M_{c1} , Н·м	M_{c2} , Н·м
Фактическое значение	0,107	0,08	35,99	71,97
Оценка	0,104	0,09	32,69	71,73
Погрешность, %	2,41	14,58	9,14	0,33

Идентификация параметров асинхронного двигателя по опытным данным

Для проверки эффективности идентификации параметров АД с применением ГА при решении реальных задач проводилось исследование АД в учебной лаборатории.

Параметры АД, определенные с помощью предложенного метода, сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты идентификации параметров АД по опытным данным

Параметр	R_1 , Ом	R_2 , Ом	L_1 , Гн	L_2 , Гн
Оценка	46,086	45,699	1,106	0,929
Параметр	L_m , Гн	J_Σ , кг·м ²	M_{c1} , Н·м	M_{c2} , Н·м
Оценка	0,924	0,012	0,378	1,541

Для оценки точности идентификации сравним графики переходных процессов АД и его модели с идентифицированными параметрами (рис. 2).

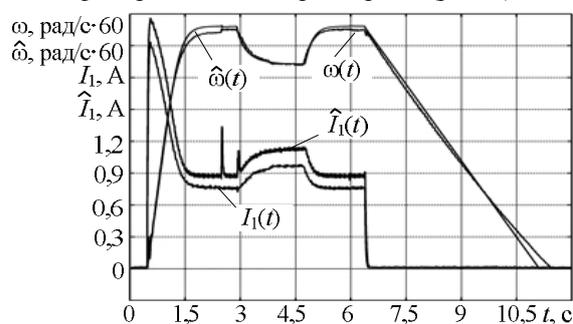


Рис. 2. Графики опытных данных, используемых для оценивания параметров АД, и их оценок

Найдем относительное интегральное значение модуля невязки фактической и модельной скорости вращения вала двигателя.

$$\delta_\omega = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t) - \hat{\omega}(t, \mathcal{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}, \hat{M}_{c2})| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t)| dt} \cdot 100\% = 2,42\%;$$

Заключение

Разработан метод предварительной идентификации параметров АД по переходным характеристикам и проведено его экспериментальное подтверждение. Вышеописанный метод не требует создания режимов короткого замыкания и холостого хода, что делает возможным его применение в составе электропривода.

Литература:

1. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А.. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ В ШАГОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Трусов Е.В.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Научный исследовательский томский политехнический университет,
634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: jordan1987@sibmail.com

Одним из самых распространенных типов механизмов в промышленности являются вентиляционные установки, основными элементами которых являются: вентилятор и воздуховод с заслонкой. Их используют в системах вентиляции всех отраслей промышленности, для кондиционирования воздуха зданий, проветривания заводов и т.д. Кроме того, вентиляционные установки играют важнейшую роль в системах жизнеобеспечения автономных объектов и являются наиболее распространенным видом судового оборудования. В данных системах количество подачи воздуха регулируется заслонкой. До настоящего времени регулирование угла заслонки происходило непосредственно вручную. В связи с потребностью модернизации и автоматизации промышленного оборудования, в том числе и судового, существует необходимость в создании регулируемого электропривода заслонки. Одним из наиболее распространенных регулируемых электроприводов для заслонок воздуховода является шаговый электропривод, имеющий ряд достоинств по сравнению с другим типом электроприводов. Рабочий ресурс регулируемого шагового электропривода для заслонок воздуховода регламентируется и составляет приблизительно 25 лет. Определяющими факторами, влияющими на безотказную работу электропривода, являются явления колебательности, резонанса и вибрация механической части электропривода. Блок-схема механической части шагового электропривода заслонки приведена на рисунке 1.

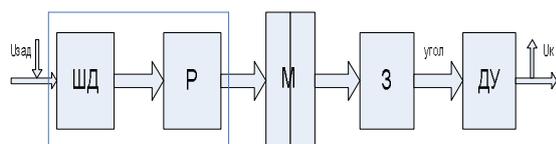


Рис.1 Блок-схема механической части электропривода.

ШД - шаговый двигатель, Р - редуктор, М - предохранительная муфта, З - заслонка, ДУ - датчик угла.

Узел обозначенный на блок-схеме рис.1, как ШД – Р, является определяющим с точки зрения ресурса работы всего электропривода. Устойчивая работа именно этого узла позволит выполнить требование по ресурсу работы всего электропривода заслонки, причем размеры узла ШД – Р не должны превышать определенных размеров. Поэтому существует необходимость в создании таких устройств измерения колебаний в таких системах, которые позволяют контролировать ресурс работы и вписыва-

ются в определенные габариты разрабатываемого электропривода заслонки. Конструкция подобного устройства (датчика) приведена на рисунке 2 [2].



Рис.2 Микроэлектромеханический датчик косвенного измерения колебаний.

Датчик по принципу действия является емкостным преобразователем энергии, который состоит из неподвижной части (статора) и подвижной части (ротора). Статор представляет собой пластину из сплава металлов со свойствами упругой деформации, а ротор твердую металлическую пластину. Статор является устройством для сообщения заряда движущемуся ротору путем электростатической индукции, или путем кондуктивного соединения ротора со статором или за счет трения ротора о статор [1]. Между статором и ротором размещен образец пленки толщиной 5 мкм с нанесенным слоем проводника (в нашем случае Si). Принцип работы датчика представлен на рисунке 3.

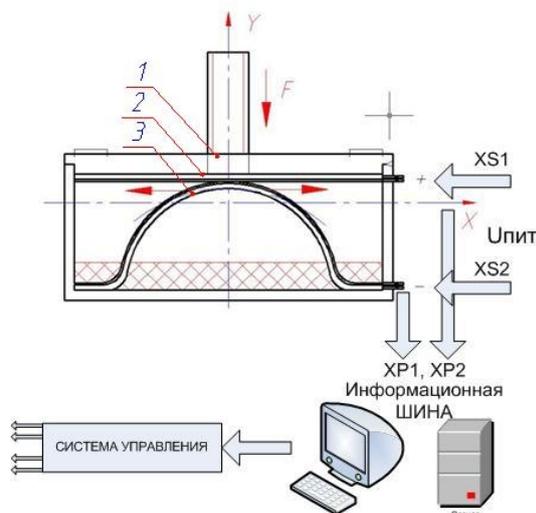


Рис.3 К принципу работы емкостного микроэлектромеханического датчика.

Здесь на шток поз.1 действует некоторая сила, вызванная колебаниями (или вибрациями) системы [3]. Шток поз.1 перемещает металлическую пластину поз.2 по оси Y, за счет упругой деформации металлическая пластина поз.3 изгибается, равномерно в обе стороны по оси X. Между пластинами увеличивается площадь соприкосновения, следовательно, и значение емкости. Математическое описание процессов, происходящих при этом, представлено ниже.

Принцип действия конденсаторов основан на способности, накапливать на обкладках, электрические заряды при приложении к ним напряжения. Количественной мерой способности накапливать электрические заряды является емкость конденсатора. В простейшем случае конденсатор представляет собой две металлические пластины, разделенные слоем диэлектрика. Емкость такого конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, S – площадь обкладок конденсатора, d – расстояние между обкладками ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость материала, находящегося между обкладками. При сжатии совершается некоторая работа, которую можно вычислить по следующему выражению

$$A = \Delta C \frac{U^2}{2}.$$

Начальная емкость может быть определена по следующей формуле

$$C_{нач} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S_{нач}}{d_{пл}}$$

где $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м,

a начальная площадь соприкосновения металлической пленки и поверхности статора в виде

$$S_{нач} = b \cdot l_0$$

где l_0 – начальная длина сжатия;

$d_{пл} = 0.5 \cdot 10^{-6}$ м – толщина тонкой диэлектрической пленки на поверхности статора. Конечное значение емкости можно определить по выражению

$$C_{кон} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S_{кон}}{d_{пл}}$$

Конечная площадь соприкосновения металлической пленки и поверхности статора

$$S_{кон} = b \cdot (l_0 + l_{акт.}),$$

где $l_{акт.}$ – рабочая длина сжатия.

Изменение емкости при сжатии можно определить

$$\Delta C = C_{кон} - C_{нач}$$

Снятые значения емкости через информационный канал поступают на контроллер, где происходит дальнейший расчет и сравнение с экспериментально заданной характеристикой.

Таким образом, имеется возможность расчета силы, приложенной к штоку

$$F = \frac{A_{пол}}{\Delta x}.$$

Данный расчет является точным при условиях обеспечения в рабочей среде пластин и диэлектрика абсолютного вакуума и точной сборки, обеспечивающей жесткое крепление. Экспериментальная характеристика для косвенного измерения колебаний представлена на рисунке 4.

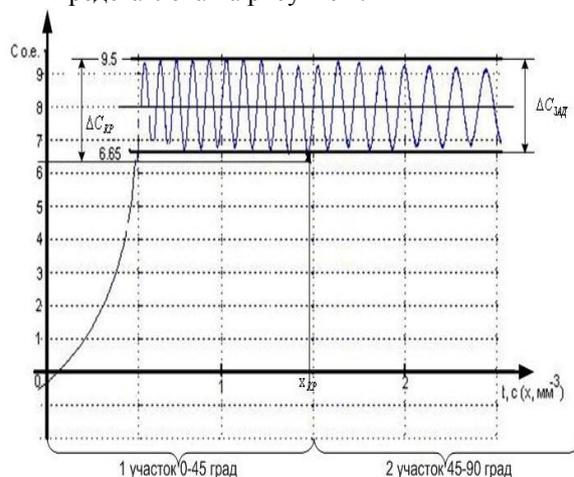


Рис.4 Характеристика зависимости емкости от перемещения, снятая экспериментально.

Из характеристики, представленной выше, следует, что существует некоторая зона изменения емкости $\Delta C_{ззд}$, в пределах которой колебания системы не превышают заданных, граничных значений. Рассмотренный в статье датчик, созданный с применением тонкопленочных технологий, целесообразно использовать в электроприводах малой мощности и высокой точности для типовых механизмов.

Литература:

1. Полотовский Л.С. Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения. – Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 155 с.
2. Korvink, Jan G. MEMS. A Practical Guide to Design, Analysis and Applications. – New York: Springer, 2005. – 965 p.
3. Капустин С.А. Метод конечных элементов в механике деформируемых тел. Часть I. Учебное пособие. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 1997. – 70 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕГООФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАЛОШУМНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Уварова Т.С.

Научный руководитель: Муравлева О.О., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина,30

E-Mail: tusra_uwa@mail.ru

Эффективное использование энергоресурсов и в первую очередь электрической энергии является одним из приоритетных направлений развития современной мировой экономики. В Российской Федерации наблюдаются непрерывный рост потребления невозобновимых углеводородных энергоресурсов и увеличение стоимости электрической энергии, производимой на их основе. Только за период 2000-2010 г.г. стоимость электрической энергии возросла в четыре раза. Это обостряет проблему энергосбережения, поскольку доля стоимости электроэнергии в стоимости товарного продукта возрастает, что ведет к снижению конкурентной способности товарного продукта и темпа экономического развития страны[1].

Во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве для вращения рабочих машин и механизмов используются электроприводы, созданные на основе применения традиционных асинхронных двигателей (АД), номинальным напряжением 220/380 В. Эти электродвигатели являются самыми массовыми потребителями электрической энергии. По экспертным оценкам на предприятиях РФ используются от 120 до 150 млн. единиц АД. Повсеместное применение АД обусловлено их высокой надежностью, сравнительно низкой стоимостью и приемлемыми эксплуатационными расходами. Только в системах жизнеобеспечения городов России асинхронные электроприводы насосных агрегатов потребляют в год до 130 млрд. кВт·час электрической энергии. До 70% АД сосредоточено в энергоемких отраслях: горно-, нефте-, газодобывающей, металлургической, строительной и жилищно-коммунальном хозяйстве, а также для малошумных вентиляционных устройств[2].

Среди проблем, связанных с энергоэффективностью вентиляционных установок, пристальное внимание исследователей в последние годы привлекает вопрос о повышении энергетических показателей асинхронного двигателя.

Целью данной работы является проектирование энергоэффективных асинхронных двигателей для малошумных вентиляционных устройств за счет модернизации и оптимизации его энергетических характеристик.

Основными направлениями совершенствования стандартных двигателей для малошумных вентиляционных устройств являются [3]:

- повышение энергоэффективности;
- снижение уровня шума;
- универсализация;
- повышение надежности и долговечности;
- улучшение внешнего вида (совершенствование дизайна);

- повышение удобства монтажа и эксплуатации.

Энергоэффективность асинхронных электродвигателей характеризуется уровнем коэффициента полезного действия (КПД) и коэффициентом мощности ($\cos \phi$).

В Европейском сообществе (ЕС) и Российской Федерации (РФ) практически одновременно в 2000 году были приняты нормы на КПД асинхронных двигателей.

Евроноормы СЕМЕР для двух и четырех полюсных двигателей мощностью от 1,1 до 90 кВт предусматривают три уровня КПД:

- нормальный – EFF3;
- повышенный – EFF2;
- высокий – EFF1.

Таблица 1. Нормы EFF1 и EFF2

P, кВт	КПД, %	
	EFF2	EFF1
1,1	76,2	82,8
1,5	78,5	84,1
2,2	81	85,6
3	82,6	86,7
4	84,2	87,6
5,5	85,7	88,6
7,5	87	89,5
11	88,4	90,5
15	89,4	91,3

Нормы на КПД в РФ в соответствии с ГОСТ 51677-2000 предусматривают два уровня КПД:

- нормальный, практически совпадающий с уровнем EFF2 Евроноорм СЕМЕР;
- повышенный, практически совпадающий с уровнем EFF1 Евроноорм.[4].

Таким образом, основными тенденциями повышения энергоэффективности асинхронных двигателей является увеличение коэффициента полезного действия и коэффициента мощности до максимального уровня.

К числу основных задач проектирования энергоэффективного асинхронного двигателя для вентиляционной установки относится изменение определенных параметров, таких как длина пакета статора и число витков обмотки статора.

Оценивая возможности применения данного метода проектирования был выполнен предварительный расчет асинхронного двигателя с кольцевой обмоткой при синхронной частоте вращения (3000 об/мин), и мощности (90 Вт) [5].

Эксперимент показал, что при увеличении длины пакета статора и уменьшении числа витков на 10 % коэффициент полезного действия увеличивается на 4 %.

Таблица 2. Зависимость параметров от изменения длины пакета статора и числа витков

	0%	5%	10%
L1, м	0,04	0,042	0,044
W1	861	820	783
КПД	0,711	0,714	0,740
Рст.осн.	2,96	3,21	3,39
Рэ1	16,94	16,51	12,44
Рэ2	7,52	6,44	5,5

График изменения КПД изображен на рис. 1. Из полученных результатов видно, что при увеличении длины пакета статора и уменьшении числа витков на 10 % коэффициент полезного действия увеличивается на 4 %.

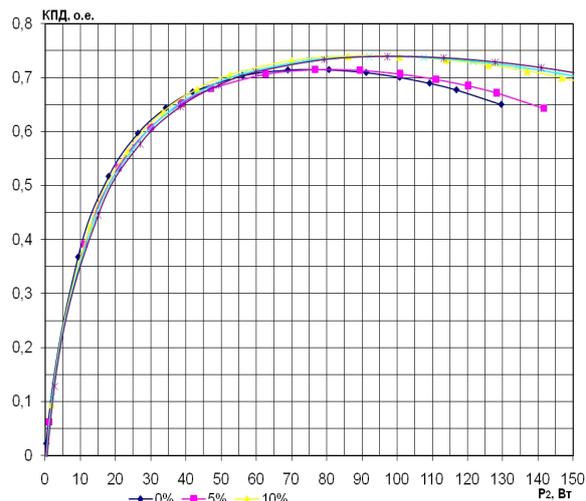


Рис.1 График зависимости КПД от полезной мощности.

Проведенные исследования позволяют спроектировать энергоэффективный асинхронный двигатель для маломощных вентиляционных устройств за счет модернизации и оптимизации его энергетических. В заключении отметим, что при изменении длины пакета статора и числа витков обмотки статора на 10% достигли максимального результата – КПД энергоэффективного асинхронного двигателя увеличился на 4 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
2. Электронные и электромеханические системы и устройства: Тез. Докл. XVIII науч.-техн. Конф.(22-23 апр. 2010 г., г.Томск)/ ОАО «НПЦ»Полюс». – Томск: ООО «Печатная мануфактура», 2010. – 360 с.
3. Муравлева О.О. Концепция и пути развития энергоэффективных асинхронных двигателей // Электричество. – 2007. - № 6 – с. 50- 52
4. Н.И. Щелоков Я.М. Данилов Энергосбережение для всех. – М.: Издательство Мэи, 2004.- 207 с.
5. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА

Фисюнова Е.В.

Научный руководитель: Муравлева О.О., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: Lenok1990@sibmail.com

Во многих городах России для перевозки населения широко используются трамвайные вагоны, что требует создания новых современных конструкций этих транспортных средств с улучшенными технико-экономическими характеристиками и повышенной надежностью в эксплуатации. Эксплуатация современных отечественных трамвайных вагонов показала существенные конструктивные недостатки, которые влекут за собой дополнительные затраты на ремонт и их содержание. Опыт эксплуатации показывает, что более половины трамвайных вагонов, поступающих во внеплановый и текущий ремонты, имеют трещины кузова в зоне соединения вертикальных стоек дверных проемов и верхней обвязки. Эти неисправности приводят к тому, что вагоны длительное время находятся в ремонте, в среднем 39,48% от рабочего времени вагона, поэтому возникла задача повышения его работоспособности. Неисправности требуют дополнительных затрат сил и средств на их восстановление. Поэтому существует проблема продления срока службы трамвайных вагонов и сокращения затрат на их ремонт. Существующие методики прогнозирования не в полной мере отражают картину надежности трамвайного вагона, вследствие различных условий его эксплуатации.

Целью статьи является анализ показателей надежности трамвайного вагона по данным об отказах в эксплуатации.

Методологической основой работы является современное представление о прочности и долговечности конструктивных элементов трамвайных вагонов. Структурная схема методики прогнозирования надежности трамвайного вагона по данным об отказах в эксплуатации показана на рис.1. Для сбора информации о техническом состоянии трамвайных вагонов часто применяют разовые натурные обследования, проводимые при поступлении вагонов в плановые и текущие ремонты [1].

В работах Н.А. Костенко теоретически обоснована возможность достоверной оценки показателей надежности по результатам разовых обследований [2]. Тем самым можно не наблюдать непрерывно длительный период за совокупностью деталей или узлов вагона, а достаточно фиксировать отказы деталей или узлов в течение короткого промежутка времени (1-2 года). Значительно повысить уровень надежности возможно за счет проведения технологических мероприятий.

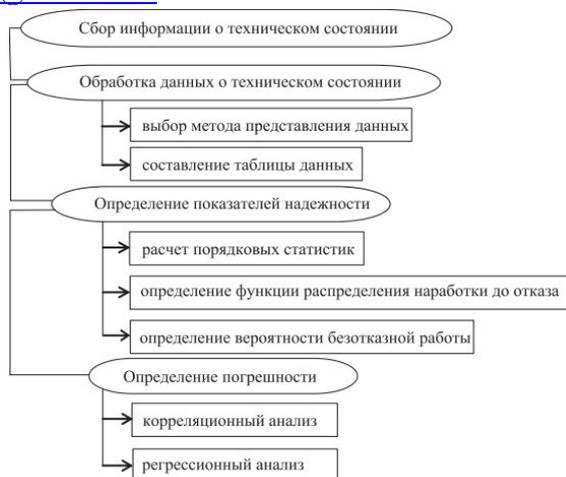


Рис. 1. Методика прогнозирования надежности трамвайного вагона по данным об отказах в эксплуатации

Обследование технического состояния трамвайных вагонов осуществлялось при поступлении трамваев в плановый и текущий ремонты. Выполненное обследование технического состояния трамвайных вагонов показало, что наибольшее количество неисправностей приходится на электрооборудование, кузов и ходовые части (рис. 2).

На рис. 2 изображена диаграмма отказов кузова и ходовых частей трамвайного вагона.

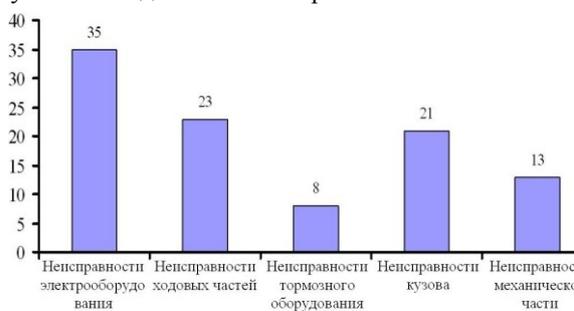


Рис. 2. Отказы кузова и ходовых частей трамвайного вагона

Статистические данные, полученные при проведении анализа технического состояния несущих элементов кузова трамвайного вагона, представлялись в виде многократно цензурированных выборок, так как в момент обследования большинство объектов находились в работоспособном состоянии [3].

В процессе движения трамвайного вагона возникают динамические силы и колебания, обусловленные действием реакций системы. Эти колебания могут оказаться причиной шума или

вибраций, а также нежелательного динамического нагружения элементов конструкции. Используя гасители колебаний и рессоры, можно минимизировать амплитуды возникающих колебаний или изолировать их с целью выполнения требований относительно допустимых уровней шума и вибраций.

Опыт эксплуатации трамвайных вагонов модели «Спектр» показывает, что наиболее повреждаемыми, за исключением электрооборудования, являются элементы ходовых частей. Это подтверждается выполненным анализом распределения отказов трамвайных вагонов этой серии. Из диаграммы представленной на рис. 3 видно, что 23 % вагонов имеют отказ ходовых частей.



Рис. 3. Отказов основных узлов трамвайного вагона

Нарушения работоспособности ходовых частей приводят к отказам подвижного состава и возникновению аварийных ситуаций. Это непосредственно влияет на уровень безопасности городской транспортной системы. На основе выполненного анализа, в качестве объекта исследований были выбраны ходовые части трамвайных вагонов.

Наиболее характерными неисправностями тележек трамвайных вагонов модели «Спектр» являются: образование трещин в продольных балках в местах соединения с кожухами редукторов, излом пружин центрального рессорного подвешивания, просадка резиновых амортизаторов, обрыв болтов подвески тягового электродвигателя, разрушение уплотнительной втулки и изгиб штока гидравлического гасителя в центральной ступени подвешивания, ослабление крепления моноблока колеса. результате исследования технического состояния были выявлены основные неисправности ходовых частей, большая часть которых склывается на безопасности движения. Из диаграммы распределения отказов ходовых частей трамвайного вагона, представленной на рис. 4, можно сделать вывод, что наиболее повреждаемым элементом является рессорное подвешивание (неисправность гидравлического гасителя колебаний – 21%, неисправность пружин центрального рессорного подвешивания – 18%).

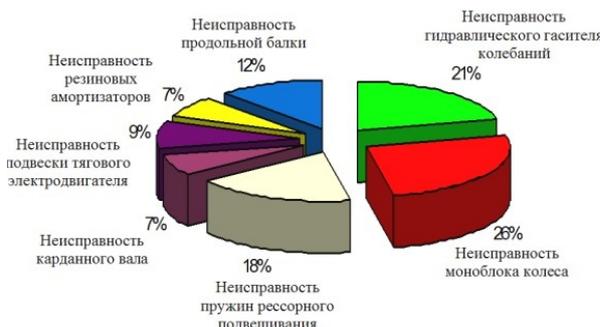


Рис. 4. Отказы ходовых частей трамвайного вагона

Средняя оценка вероятности безотказной работы рессорного подвешивания за срок эксплуатации $t = 12$ месяцев составила $P(t) = 0,61$ при нормируемом показателе $[P(t)] = 0,92$. Несоответствие нормируемого показателя надежности свидетельствует о необходимости повышения прочностных и динамических качеств, несущей способности и надежности рессорного подвешивания трамвайного вагона.

Таким образом, по статистическим данным эксплуатации трамвайных вагонов были выявлены отказы основных узлов, нарушающих работоспособность. Важнейшими мероприятиями, снижающими поток отказов и повышение долговечности, являются соблюдение технических требований, таких как, профилактическое обслуживание, плановый ремонт, контроль за износом деталей. Необходимую информацию о сборке, регулировке и контроле изделий с последовательностью выполненных операций нужно записывать в технологический паспорт, который должен отражать все выявленные дефекты и отклонения.

Список литературы:

1. Зайнетдинов Р.И. Развитие методов оценки работоспособности несущих конструкций подвижного состава с использованием закономерностей самоорганизации/Дис. докт. техн. наук.- М.: МИИТ, 2000.- 435 с.
2. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин// -Машиностроение.- 1989.- 240 с.
3. Иванов Н.Л. Повышение долговечности несущих элементов кузовов трамвайных вагонов/ дис.- М.: Екатеринбург, 2009.-22 с.
4. Бачурин Н.С. Методика оценки показателей надежности трамвайного вагона/Научно-технический журнал "Транспорт Урала".- №1(20).-2009.-93 с. Режим доступа: <http://vagons.tramvaj.ru/>.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛИФТА

Шачнев П.А.

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

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: verevkin@sibmail.com

В данной статье будет представлена автоматическая система управления (АСУ) лифтовой установкой по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) с короткозамкнутым ротором.

Функциональная схема лифтовой установки с учетом сигналов управления и информационных сигналов приведена на рисунке 1.

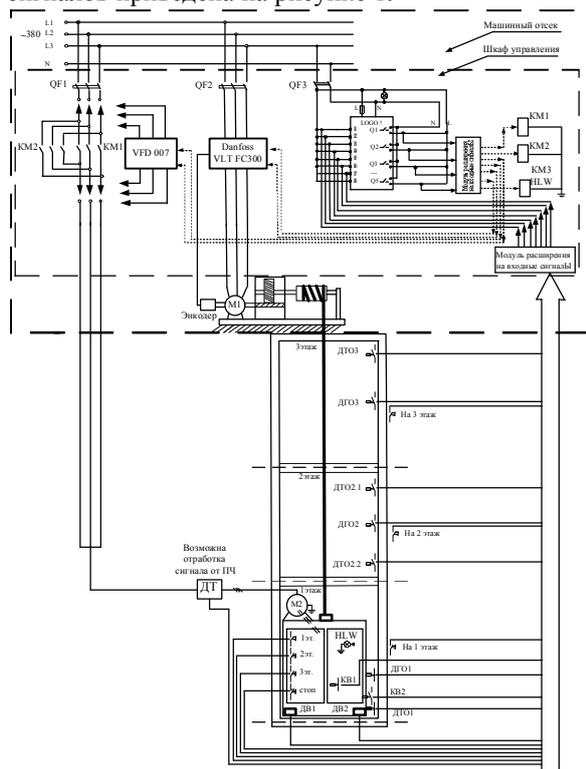


Рис. 1. Структура АСУ

Функциональная схема приведенная на рисунке 1, разработана для трехэтажного здания. На ней показаны два концевых и один промежуточный этажи. Так же на данной схеме показано размещение концевых выключателей на этажах и на кабине установки, датчиков веса и всех исполнительных кнопочных постов.

Органом управления технологическим процессом перемещения, является контроллер фирмы Siemens, представленный логическим модулем LOGO! Basic. Логический модуль формирует поочередно алгоритм выдачи дискретных сигналов задания скорости на ПЧ, а также коммутирует силовые цепи в зависимости от информационных сигналов от дискретных датчиков. Управление силовыми цепями питания электродвигателей и сбор сигналов состояния выполняется через дискретные модули ввода – вывода. Входными сигналами контроллера являются сигналы с дискретных датчиков: концевых выключателей KB1-KB2,

датчиков веса ДВ1-ДВ2, кнопок вызова на этажи, кнопок команд движения на адресный этаж, кнопки аварии.

Механическая система представлена червячным редуктором. Обратная связь по скорости вращения вала двигателя организуется по средствам инкрементального энкодера. Сигнал обратной связи заводится на преобразователь частоты. Контроллер формирует согласованные по величине сигналы управления на преобразователь частоты и коммутационные элементы. В данном случае для управления двигателем открытия – закрытия дверей могут быть применены как ПЧ, так и магнитные пускатели. В случае, если применяются магнитные пускатели, необходимо введение датчика тока в фазу исполнительного двигателя. Это делается для того, чтобы при возрастании тока фазы статорной обмотки, была возможность реверсирования двигателя движения дверей. Данная ситуация может возникнуть, когда за время выдержки открытого состояния шлюза, кабина лифта не была загружена и при закрытии между створками оказался какой – либо предмет или человек.

Органом управления исполнительным электродвигателем является преобразователь частоты VLT Avtomation Drive серии FC 300 (производство фирмы «Danfoss», Дания) [1]. Как отмечалось ранее, задание скорости двигателя происходит по средствам формирования сигналов управления от контроллера LOGO! 24 RC на дискретные входы ПЧ.

Таблица 1. Подключение дискретных входов ПЧ

FC	Параметры	
	Функция	Настройка
+24 V 12	5-10 Клемма 18, цифровой вход	[8] Пуск*
+24 V 13	5-12 Клемма 27, цифровой вход	[19] Зафиксиров. задание
D IN 18	5-13 Клемма 29, цифровой вход	[21] Увеличение скорости
D IN 19	5-14 Клемма 32, цифровой вход	[22] Снижение скорости
COM 20		
D IN 27		
D IN 29		
D IN 32		
D IN 33		
D IN 37		
+10 V 50		
A IN 53		
A IN 54		
COM 55		
A OUT 42		
COM 39		

Алгоритм, показывающий последовательность выдачи сигналов на ПЧ, изображен на рисунке 2.

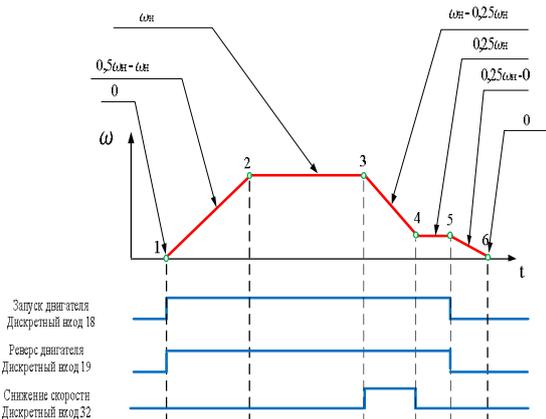


Рис.2. Алгоритм управления по дискретным входам ПЧ

Приведенная на рисунке 2 характеристика соответствует обработке преобразователем частоты S – кривой разгона/торможения исполнительного двигателя. При выполнении одного цикла перемещения кабины, S – кривая имеет пять рабочих участков:

1. участок 1 – 2 разгон от нуля до номинальной скорости;
2. участок 2 – 3 работа на номинальной скорости;
3. участок 3 – 4 снижение скорости от номинального значения до 0,25;
4. участок 4 – 5 работа двигателя со скоростью 0,25 от номинального значения;
5. участок 5 – 6 снижение скорости от 0,25 номинального значения до 0.

На рисунке 3 показана базовая S – кривая разгона/торможения, заложенная в преобразователе частоты. Характеристика представляет собой зависимость времени разгона/торможения от задания скорости вращения ротора электро-двигателя.

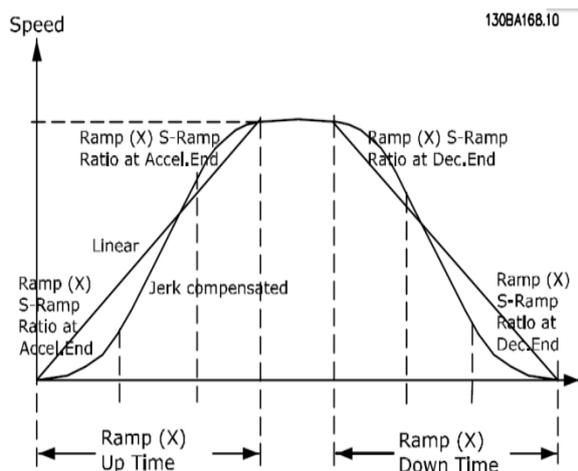


Рис.3. S – рампа преобразователя частоты

При помощи определенных настроек в ПЧ можно варьировать такими параметрами как время разгона и время торможения.

В качестве устройств управления открытия закрытия/дверей, применяются магнитные пускатели КМИ и датчик тока.

На рисунке 4 показано окно программы для создания алгоритма управления контроллером.

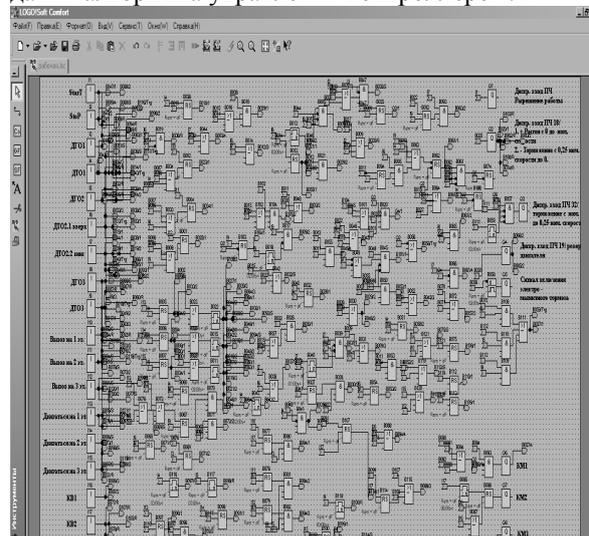


Рис.4. Окно программы LOGO! Soft Comfort

Алгоритм управления контроллером создается в прикладной программной среде LOGO! Soft Comfort, после чего “зашивается” в логический модуль LOGO! 24 RC. В процессе работы лифта возникает ряд не связанных друг с другом ситуаций – перемещение вверх/вниз с остановкой на промежуточном этаже, а так же с остановкой на конечных этажах. При отработке алгоритма необходима блокировка определенного ряда датчиков, в зависимости от заданной команды. При отработке открытия/закрытия дверей и при внештатных ситуациях программ выполнения должна обрабатываться независимо от команд на перемещение.

Уникальность алгоритма заключается в возможности осуществления параллельной координации обрабатываемых процессов.

Список литературы:

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователе частоты VLT FC 300 – Режим доступа: www.danfoss.com/russia
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о Siemens, – Режим доступа: www.promspecrele.energoportal.ru

ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ

Шпет Н. А.

Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Shpet_Nataly@sibmail.com

Пассажирский лифт является сложной системой, состоящей из двух основных подсистем; механической (все механизмы, несущие элементы металлоконструкций и арматура) и электрической (внешняя и внутренняя системы управления, системы автоматики, блокировки, электропривод, электротормоз и электроосвещение). Отказ любой подсистемы будет устраняться в процессе технического обслуживания лифта или при аварийном ремонте. Для лифта, срок службы которого достигает нескольких десятков лет, устранение отказа является экономической необходимостью.

При рассмотрении потоков отказов лифтов принимается, что отказы элементов и подсистем лифта взаимонезависимы; вероятность наступления отказов является функцией промежутка времени, на котором анализируется событие; вероятность наступления более одного отказа за малый промежуток времени практически равна нулю. При этих условиях поток отказов лифта является простейшим и может рассматриваться как сумма потоков отказов составляющих его элементов и подсистем.

Проанализировав информацию об отказах, собранную в процессе массовых обследований лифтов, установили, что надежная работа лифтов определяется надежностью небольшого числа элементов, в которое входит электропривод [1]. Лифтовая лебедка с приводом от асинхронного двигателя представлена на рис. 1.

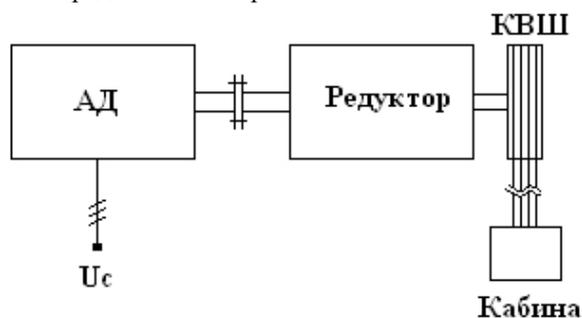


Рис. 1. Лифтовая лебедка с приводом от асинхронного двигателя.

Асинхронные двигатели (АД) предназначены для создания необходимого вращающего момента на червячном валу редуктора и устанавливаются на тихоходных лифтах со скоростью движения кабины до 1,4 м/с в жилых зданиях, так как они наиболее простые и надежные. Плавность пуска асинхронных электродвигателей, а также плавность перехода двухскоростных электродвигателей, с большой на малую скорость достигают-

ся некоторым изменением конструкции пазов роторного магнитопровода.

Исследование надежности конкретных машин должно включать рассмотрение природы отказов и их классификацию, установление системы показателей надежности и выбор метода исследования, разработку программы сбора и методики обработки информации.

Целью работы является выбор системы показателей надежности для лифтовых асинхронных двигателей, так как анализ функциональных и структурных схем лифта невозможен или практически бессмыслен без установления количества показателей надежности.

В практических исследованиях количественные показатели дают возможность оценить меры, направленные на повышение качества, сравнить различные варианты конструкций и оценить систему при выполнении ею различных функциональных задач.

Для количественной оценки надежности любых технических устройств, в том числе и АД для лифтов, используются понятия теории вероятностей и математической статистики, скорректированные в соответствии со спецификой объекта исследования и преобразованные к виду, удобному для обработки статистических данных об эксплуатации. Однако эта оценка должна базироваться на статистической информации, собранной непосредственно на объектах эксплуатации, так как только в этих условиях можно получить сведения, обобщающие всю совокупность конструктивных особенностей АД для лифтов, технологических параметров грузопассажирских потоков и всей гаммы эксплуатационных факторов, влияющих на свойства АД для лифтов и построить соответствующие кривые распределения отказов во времени.

Так как возникающие в период нормальной работы технического устройства внезапные отказы носят случайный характер, то и количественные характеристики надежности этого устройства имеют вероятностный характер. Основой группой показателей, выбранных для описания надежности технических систем, является ГОСТ 20.39.312–85.

В связи с этим, применительно к лифтовым АД для количественной оценки их надежности целесообразно пользоваться следующими основными критериями: безотказностью, ремонтнопригодностью и долговечностью.

Безотказность – свойство АД непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки [2].

Основная задача при исследовании безотказности АД для лифтов заключается в определении функции распределения вероятности безотказной работы для лифтов, установленных в домах различной этажности, и в определении влияния режимов нагружения и использования лифта (суммарной наработки и частоты включений) на показатели безотказности [3].

В процессе эксплуатации АД для лифтов характеристики безотказности претерпевают изменения, что связано с обработкой технического ресурса. Увеличение продолжительности эксплуатации приводит к увеличению интенсивности отказов и снижению средней наработки на отказ. Этот процесс является следствием накопления необратимых повреждений в узлах и деталях АД для лифтов от износа и усталости.

Безотказность характеризуется вероятностью безотказной работы $P(t)$, средней наработкой до отказа T_{cp} и наработкой на отказ t_{cp} .

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ АД не возникнет:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right],$$

где $\lambda(t)$ – интенсивностью отказов.

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки АД до первого отказа:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t_j) dt \approx \Delta t \sum_{j=1}^S P(t_j)$$

Наработка на отказ – отношение суммарной наработки АД к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки:

$$T_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \cdot \sum_{i=1}^n t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j},$$

где t_{ij} – время работы j -го образца изделий между $(i-1)$ -м и i -м отказами;

n_j – число отказов j -го образца за время t .

Ремонтопригодность – свойство АД, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта [2].

Ремонтопригодность характеризуется средним временем восстановления – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния АД после отказа:

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где n – число обслуживаний неисправного устройства;

t_i – время, затраченное на i -ое обслуживание.

Переход АД из неработоспособного состояния в работоспособное осуществляется с помощью операций восстановления, к которым относятся операции по определению места и характера отказа, замены подшипниковых узлов, контроля технического состояния деталей и узлов АД и операций работоспособности АД в целом. Основным узлом, определяющим необходимость проведения операций восстановления работоспособного состояния АД являются подшипниковые узлы.

Долговечность – свойство АД сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта [2].

Долговечность характеризуется ресурсом до капитального ремонта:

$$T_{pk} = \sum_{j=1}^{in} P(t_j) \cdot \Delta t,$$

где jn – номер интервала времени, после которого значение $P(t_j)$ становится меньше 0,2.

АД может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если, например, его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности и эффективности. Предельным состоянием АД будем считать отказ обмотки статора.

Выбор выше приведенных показателей надежности был осуществлен на основе классификации АД по признакам, характеризующим их назначение, последствия отказов, достижения предельного состояния и особенностей режимов применения. Эти показатели предназначены для оценки надежности лифтовых АД, результаты которой используются при:

- нормировании показателей надежности разрабатываемых АД для лифтов;
- разработке и определения эффективности мероприятий по повышению надежности АД для лифтов;
- оптимизации системы обслуживания и ремонта АД для лифтов.

Требования по надежности должны быть установлены в ТУ на конкретные типы АД.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чутчиков П.И., Дроздов Н.Е., Демин А.А. Повышение эксплуатационной надежности пассажирских лифтов. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1975 – 32 с.: ил.
2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.: ил.
3. Чутчиков П.И. Пассажирские лифты. М.: «Машиностроение», 1978 – 141 с.: ил.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАСТРОЙКИ

И ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

Рубан Н.Ю.

Научный руководитель: Гусев А.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: rubanny@tpu.ru

В настоящее время для решения задач разработки, настройки и тестирования систем релейной защиты и противоаварийной автоматики существует множество различных по принципу действия и функциональному назначению устройств, которые условно можно разделить на три группы:

1. Испытательные устройства, решающие задачи локального характера и использующиеся в основном для настроек и проверок отдельных элементов РЗ и ПА.

2. Физические модели, позволяющие осуществлять настройку и проверку РЗ и ПА, но обладающие рядом ограничений, включая недостаточную гибкость модели. Кроме того серийное производство таких моделей крайне затруднено, а для их размещения требуются значительные площади.

3. Цифровые модели, которые являются наиболее активно развивающимися системами, способными решать обозначенные задачи [1]. Такие модели позволяют исследовать влияние электромагнитных и электромеханических переходных процессов на функционирование РЗ и ПА, что может быть использовано для создания новых алгоритмов, разработки методик выбора параметров и расчета уставок.

В свою очередь цифровые модели по своей реализации подразделяются на программные, используемые для разработки РЗ и ПА, и программно-аппаратные, используемые помимо разработки еще и для тестирования указанных средств. Однако цифровые модели обладают рядом ограничений, обусловленных, прежде всего, применяемыми для их разработки численными методами. Самым весомым ограничением является плохая обусловленность численных методов для решения жестких систем дифференциальных уравнений высокого порядка, что приводит к необходимости упрощения математических моделей, ограничению размерности моделируемой электроэнергетической системы (ЭЭС) и интервала воспроизведения процессов.

Современные средства релейной защиты и противоаварийной автоматики осуществляют свое воздействие на довольно обширную часть энергосистемы, а значит, их проверка и настройка должны быть проведены в условиях, максимально приближенных к реальным условиям их эксплуатации, а именно при совместной работе с аналогичными устройствами, установленными в этой энергосистеме.

Устройством, лишенным подобного рода недостатков, является программно-технический комплекс (ПТК) для настройки и испытаний средств релейной защиты и противоаварийной автоматики, в основе работы которого лежит принцип гибридного моделирования электроэнергетических систем. Устройство, позволяющее реализовать такой принцип, называется Всережимным моделирующим комплексом реального времени ЭЭС (ВМК) [2].

ВМК позволяет адекватно воспроизводить в реальном времени весь спектр режимов и процессов в энергосистемах различной сложности и размерности (Рис. 1).

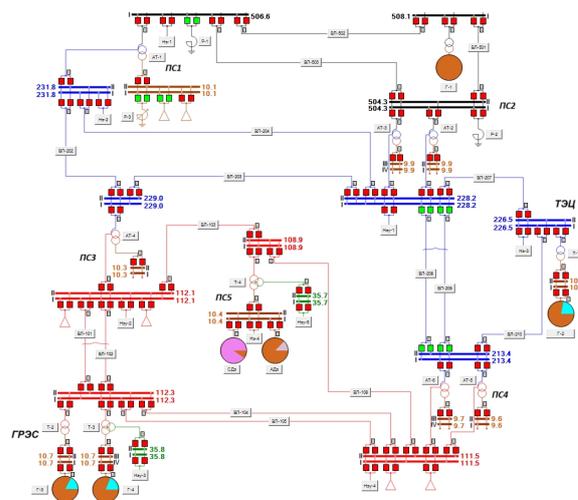


Рис. 1. Схема электрических соединений моделируемой энергосистемы

Внешний вид исполнения ВМК, предназначенного для решения типовых задач, представлен на рис. 2.

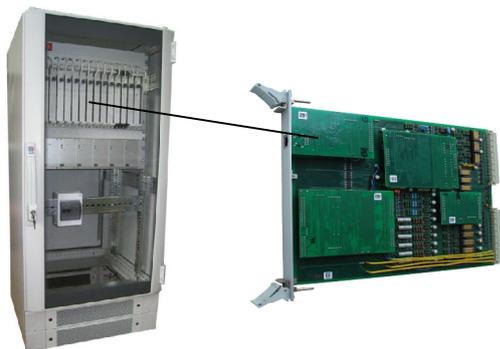


Рис.2. Внешний вид комплекса, моделирующего энергосистему, и модуля электрической машины

Решение систем дифференциальных уравнений математических моделей всех элементов, входящих в ВМК, осуществляется с помощью метода непрерывного неявного параллельного интегрирования.

Работа ВМК осуществляется на базе специальных модулей (Рис.2), связанных локальной компьютерной сетью через многоканальный коммутатор с сервером ВМК, к которому, в свою очередь, подключаются клиентские компьютеры через внешнюю компьютерную сеть. Существует три основных типа модулей: электрической машины, трансформаторов, линий электропередачи. Каждый такой модуль объединяет несколько специализированных гибридных процессоров (СГП), совокупность которых и определяет тип модуля. Состав и характеристики СГП определяются решаемыми задачами моделирования, главным образом математическими моделями элементов силового оборудования. Каждый СГП имеет функциональные трехфазные А, В, С входы-выходы, посредством которых с помощью коммутатора трехфазных узлов (КТУ) формируется топология моделируемой ЭЭС и осуществляется их естественное взаимодействие.

Взаимодействие функциональных элементов ПТК для настройки и испытаний средств РЗ и ПА происходит согласно схеме на рис. 3.

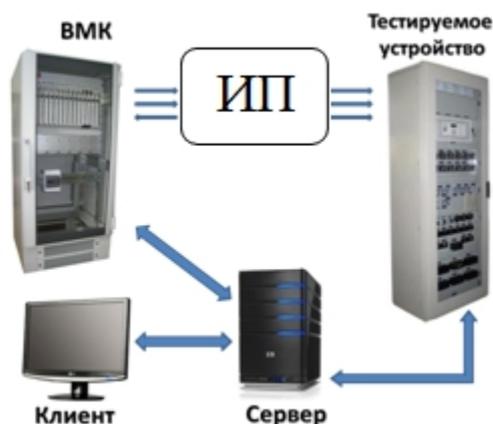


Рис.3. Функциональная схема ПТК

Управление ВМК осуществляется Сервером по внешней компьютерной сети. Взаимодействие ВМК с тестируемыми устройствами (ТУ) организовано через измерительные преобразователи (ИП) по протоколам стандарта МЭК 61850, включающим широковещательную передачу мгновенных значений (SV), а также передачу и прием значений состояния (GOOSE). Сформированное управляющее воздействие от ТУ может вводиться в ВМК по каналам МЭК 61850 (GOOSE) или по иным каналам при помощи специализированного клиента. ИП получают мгновенные значения токов и напряжений участка моделируемой схемы, снимаемые с КТУ и данные о положении выключателей и других параметров системы, по внутренним каналам передачи информации, и транслируют их оцифрованные значения в ТУ по протоколам стандарта МЭК 61850.

Пользователь с помощью специализированного программного обеспечения через Сервер получает информацию о процессах и режимах модели ЭЭС, о сигналах, поступающих в ТУ, а также интерактивно, автоматизировано или автоматически может управлять параметрами модели ЭЭС и настройками РЗ и ПА.

Предлагаемый ПТК для настройки и испытаний средств РЗ и ПА имеет базу математических моделей средств РЗ и ПА, которые в зависимости от поставленной задачи могут быть выполнены как в упрощенной, так и в более подробной форме, т.е с учетом протекания процессов в самих средствах РЗ и ПА. Так для задач оптимальной настройки РЗ и ПА достаточно упрощенных моделей, а что касается выявления причин неправильных действий указанных средств и выработки алгоритмов для модернизации существующих или разработки новых средств РЗ и ПА, то здесь необходимо использовать уже более подробные и полные модели указанных средств. Кроме того, возможно использовать модели РЗ и ПА любой сложности и

принципа действия, независимо от их исполнения, как на электромеханической или микроэлектронной, так и на микропроцессорной элементной базе.

Вывод: предлагаемый автоматизированный комплекс позволяет решать весь спектр задач тестирования, настройки и разработки релейной защиты и противоаварийной автоматики, а именно:

- производить оптимальную настройку этих средств;
- достоверно выявлять причины неправильной работы средств ПА;
- вырабатывать алгоритмы как для модернизации существующих средств ПА, так и для разработки новых.

Кроме того рассматриваемый ПТК лишен недостатков как цифровых, так и физических моделей. Применение такого комплекса воз-

можно прежде всего на предприятиях производства РЗ и ПА, но также и на других предприятиях электроэнергетического сектора.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы:

1. Нудельман Г.С., Онисова О.А., Наволочный А.А. Подготовка методической базы цифровых моделей реального времени для целей релейной защиты // Электротехника. 2011. №7. С. 40 – 44.
2. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия Вузов. Проблемы энергетики, 2008, - № 9-10/1.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА

Порубов Д.А.

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

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
070004, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова 69

Научный руководитель Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dporubov@yandex.ru

Наибольшее распространение получил метод диагностирования топливной аппаратуры (ТА) по изменению амплитудно-фазовых параметров давления топлива в нагнетательной магистрали [2,3]. Сущность данного метода диагностирования заключается в регистрации амплитудно-фазовых параметров давления впрыска в нагнетательной магистрали и визуальном сравнении формы кривой давления топлива с эталонной. Путем сравнительного анализа этих диаграмм с эталонной кривой производится оценка технического состояния ТА.

Диагностирование производится путем измерения наиболее важных параметров состояния системы топливоподачи:

1. Угла опережения впрыска топлива;
2. Длительности впрыска;
3. Максимального давления впрыска;
4. Количества оборотов при минимальной (холостой ход) и максимальной частоте вращения коленчатого вала.

Для измерения угла опережения подачи топлива необходимы два сигнала:

- момент начала впрыска топлива в цилиндр двигателя ($U_{\text{опт}}$);
- момент нахождения цилиндра двигателя в ВМТ ($U_{\text{1ВМТ}}$).

Диаграмма процесса цифрового измерения угла опережения подачи топлива иллюстрируется на рисунке 1.

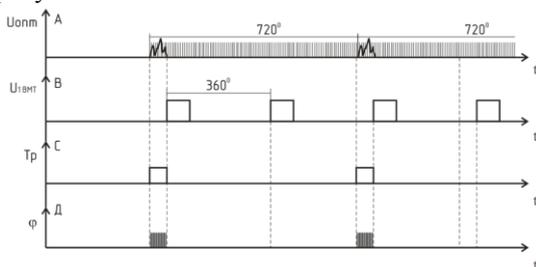


Рис. 1. Диаграмма процесса цифрового измерения угла опережения подачи топлива

На данном рисунке условно изображен процесс впрыска топлива (диаграмма А), положения поршня первого цилиндра в ВМТ (диаграмма В), импульс на выходе триггера с момента начала подачи топлива до момента положения поршня первого цилиндра в ВМТ (диаграмма С), импульсы с задающего генератора в момент установки триггера в единичное

состояние (диаграмма Д).

С момента впрыска топлива в топливопровод до следующего впрыска коленчатый вал совершает 2 оборота, т.е. 720° . Счетчик Сч1 суммирует количество импульсов N_{720} , поступающих с задающего генератора за 720° (диаграмма А).

Счетчик Сч2 считает импульсы N_ϕ , поступающие на его вход в течении времени нахождения триггера в «единичном» положении, т.е. с момента впрыска топлива в топливопровод до достижения поршнем ВМТ (диаграмма Д) [3].

В одно из устойчивых состояний триггер переводится сигналом датчика ВМТ, в другое - сигналом датчика давления топлива в нагнетательном трубопроводе. Шкала измерительного прибора проградуирована в градусах угла опережения впрыска топлива (пределы измерений от 10° до 30° до ВМТ).

Принцип действия измерителя среднего давления впрыска основан на математической обработке характеристики изменения давления топлива у штуцера форсунки [3]. При помощи электронных устройств характеристика впрыска интегрируется, а результат интегрирования делится на продолжительность впрыска. Интегратор включается в работу при достижении давления в нагнетательном трубопроводе примерно 160 кг/см^2 и прекращает работу после посадки иглы форсунки. Этим обеспечивается достаточно высокая корреляция между $P_{\text{ср}}$ и фактической подачей топлива в цилиндр двигателя через форсунку. Интегратор выдает на прибор среднее давление впрыска за 5-7 циклов при больших оборотах двигателя и за 1-2 цикла на оборотах холостого хода.

Система измерения состоит из датчика давления, устанавливаемого на трубопровод высокого давления у штуцера форсунки, усилителя формирователя сигналов датчика с высоким входным сопротивлением и частотной коррекцией, линии регулируемой задержки сигнала, осветителя и блока питания.

Принцип действия системы основан на весьма точном измерении временных промежутков между импульсами давления и между импульсами давления и вспомогательным сигналом (соответствующим положению поршня 20° до ВМТ) [2,3].

Блок схема прибора приведена на рисунке 2.

Сигнал с датчика давления поступает на согласующее устройство. С согласующего устройства сигнал поступает на усилитель-формирователь. Усилитель нормирует сигнал по амплитуде, фронтам и длительности. В процессе прохождения сигнала по тракту усиления он подвергается преобразованиям, включающим усиление и фильтрацию.



Рис.2. Блок-схема прибора для определения угла опережения впрыска топлива

Усилитель-формирователь осуществляет выделение мгновенных максимальных значений сигнала, их кратковременное запоминание, что обеспечивает отсеечение помех, имеющих меньшую амплитуду по отношению к полезному сигналу. Использование дополнительной параллельной цепи улучшает возможность выделения полезного сигнала.

В качестве измерителя скорости оборотов коленчатого вала применяется бесконтактный метод контроля угловых скоростей, с применением оптического датчика на базе полупроводникового лазера работающего на отражение.

Для управления перемещения лазерного диода и точной его подстройкой применяется шаговый двигатель (ШД). Управление шаговым двигателем осуществляется драйвером ШД [9,10]. Драйвер собран на основе специализированной интегральной схемы L297 – контроллера шагового двигателя и L298HN, содержащей два полных транзисторных моста с отводами для датчиков тока.

Микросхема L297 формирует управляющие сигналы для L298, а L298 коммутирует обмотки двигателя. L297 может управлять двигателем в режиме полного шага и в режиме половинного шага, имеет вход разрешения работы, вход направления и вход шага. Схема также имеет два входа от датчиков тока в обмотках, и позволяет ограничивать максимальный ток обмоток двигателя. При превышении тока включается ШИМ-модулирование нагрузки.

Управление платой драйвера осуществляется с помощью системы dir-step (направление-шаг). Один вход микросхемы определяет направление вращения шагового двигателя, при высоком уровне на входе dir, например, двигатель будет вращаться по часовой стрелке, при низком уровне – против часовой.

При появлении положительного перепада на втором входе (step, шаг) ротор шагового двигателя повернется на один шаг (или на половину шага в полшаговом режиме).

Микросхема L298 позволяет управлять нагрузкой при напряжении до 46В и токе до 2А на канал.

Электрическая схема драйвера приведена на рисунке 3.

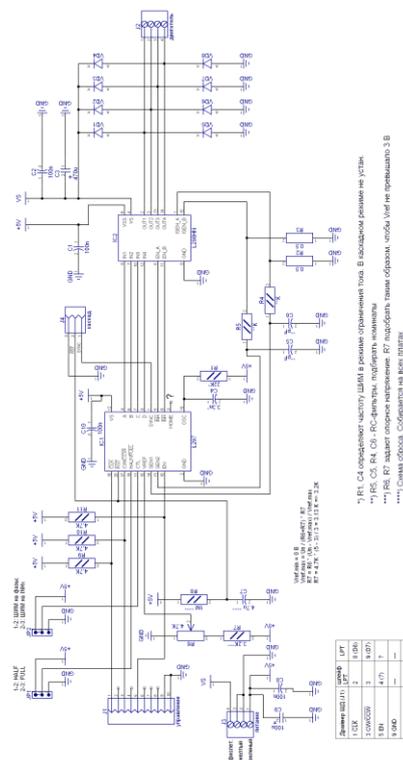


Рис.3. Схема драйвера ШД

Литература:

1. Анохин В.И. Отечественные автомобили. – М.: Машиностроение, 1977. 592 с.
2. Мирошников Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. – М.: Транспорт, 1977. 263 с.
3. Корнев В.А., Корнева Л.И., Савостенко В.В., Чебаков В.А. Устройство измерения угла опережения подачи топлива в двигатель внутреннего сгорания//Авторское свидетельство СССР № 943553, 1982г.
4. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. – М.: Академический Проект, 2004. 400с.
5. <http://www.autopropect.ru/toyota/corolla-verso/2-2-7-sistema-upravleniya-dvigatелеm.html>
6. http://systemsauto.ru/electric/fuel_pressure_sensor.html
7. <http://fuel-laboratory.narod.ru/vprusk/4.html>
8. <http://kazus.ru/shemes/showpage/0/843/1.html>
9. <http://www.joyta.ru/551-upravlenie-shagovym-dvigatелеm/>

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО УРАВНЕНИЯМ ДЛИННОЙ ЛИНИИ <u>Абрамочкина Л.В.</u>5	ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФАЗОВОПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА <u>Ахметов И.М.</u>15
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ <u>Акимжанов Т.Б., Боровиков В.С., Волков М.В.</u>7	СХЕМА КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА <u>Баранов В.А.</u>17
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ <u>Александров Н.В.</u>9	ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ <u>Баранов И.Е., Сарсикеев Е.Ж.</u>19
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В СИСТЕМАХ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН <u>Андреев И.А.</u>11	УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ <u>Беляев В.А., Манусов В.З.</u>21
ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОСНОВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЕЭС РОССИИ <u>Антонов П.С.</u>13	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ Г. ТОМСКА <u>Березовская С.Е., Шелухин И.А.</u>23
	АНАЛИЗ СПОСОБОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ <u>Велиев М.К.</u>25

**СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**
Великий И.В. , Семенов С.М.,
Иванов А.В.....27

**ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО
РЕЖИМА ВЭУ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ**
Вихарева Е.В.....29

**ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРИ
ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОМ
РАЗРУШЕНИИ БЕТОНА**
Н.В. Войтенко, Н.А. Иванов,
М.И. Пивоваров.....31

**ПОВЫШЕНИЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И
ОБОГРЕВА ВОЗДУХООПОРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**
Волков А. В., Шишов О. В.....33

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЯ
МАКСИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ
ТОКОВОЙ ЗАГРУЗКИ
КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМОМ
РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**
Гиршин А.С......35

**АНАЛИЗ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ
ПОСТРОЕНИЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ
ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ
В ЦЕЛЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ**
Гордиенко И.С......37

**ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ
ДЛЯ САЯНО-ШУШЕНСКОГО
ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА**
Дегенгард В.В.....39

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
РАВНОМЕРНЫМ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТОКА
В МНОГОМОДУЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ**
Дементьев Д. Ф......41

**АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ РЕАКТИВНОЙ
ГИДРОТУРБИНЫ
ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЕ
ВРАЩЕНИЯ**
Диёров Р.Х., Глазырин М.В.....43

**ПЕРСПЕКТИВЫ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И
НЕТРАДИЦИОННЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**
Думчев А.И......45

**ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ВОДЫ КАК
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В ПРИРОДООХРАННЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ**
Дурандин С.И......47

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАССИВНЫХ
ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ
УСТРОЙСТВ**
Егоров Д.Э......49

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ
РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЭНЕРГОСИСТЕМ,
ВКЛЮЧАЮЩИХ ГЭС С
ВОДОХРАНИЛИЩАМИ
МНОГОЛЕТНЕГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ**
Елсуков П. Ю......51

**РАСЧЕТ ТЕПЛОТВОДЯЩЕГО И
НЕСУЩЕГО ПОКРЫТИЯ
МОЩНОГО СВЕТОДИОДА**
Жидик Ю.С., Троян П.Е.....53

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИИ
СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ
ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
В ИНЖЕНЕРНЫХ И УЧЕБНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧАХ**
Жумангалиева Р.Ж......55

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА
ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ
БИЕНИЙ РОТОРОВ**
Зайцев Е. С......57

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА
АВТОНОМНЫХ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОМОВ
В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**
Захаров А.А......59

**МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ
УСТРОЙСТВО
АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СЕТЯХ**
Исабеков Ж.Б......61

**ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ
ЖЕЛЕЗА**
Колганова Ю.Л., Свечканева А.А....63

**МЕТОД АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**
Коробейникова М.В......65

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ
МНОЖЕСТВ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**
Крепышев И.С......67

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ В
СЕТЯХ 0,4 КВ
КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**
Кузьмин А.А......69

**ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**
Маров Д.Ю......71

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ
ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ
УСТАНОВКИ**
Милюхин С.А......73

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ
МНОЖЕСТВ В УПРАВЛЕНИИ
СОСТАВОМ АГРЕГАТОВ ГЭС**
Митрофанов С.В.75

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ
ПИТАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ
ЧАСТОТЫ ДЛЯ СИСТЕМ НАГРЕВА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКСЕРОВ И
ВНЕПЕЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
АЛЮМИНИЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**
Михайлов К.А., Матюшенко В.В....77

**АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА
ЮЖНО-ЯКУТСКОГО РЕГИОНА**
Назаралиева П.Б......79

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО
ОСВЕЩЕНИЯ
НА ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
ПОМЕЩЕНИЯ**
Овчинникова Н. А., Коржнева Т.Г....81

**АНАЛИЗ МЕР ПО ОТСТРОЙКЕ ОТ
ВНЕШНИХ КЗ
В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ
ГЕНЕРАТОРА ТЕРМИНАЛА
SERAM 80**
Осинцев А.А......83

**АКТИВАЦИЯ РАСТВОРОВ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
ИМПУЛЬСНЫМИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ**
Осокин Г.Е. 85

**МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ
УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**
Павлов И.А., Темербаев С.А......87

**ОБОСНОВАНИЕ
НЕОБХОДИМОСТИ НЕЧЕТКОГО
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО
АНАЛИЗА В ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА
СТВОРА ПЛОТИНЫ ГЭС**
Панкратьев П.С......89

**РАСЧЁТ ЗАПАСА ПО
СТАТИЧЕСКОЙ
АПЕРИОДИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ
САЯНО-ШУШЕНСКОГО
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
УЗЛА**
Плеханов А.С., Мясина Е.А......91

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ:
МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**
Прутик А.Ф.93

**ОТКАЗЫ СРАБАТЫВАНИЯ И
ИЗЛИШНИЕ ДЕЙСТВИЯ
ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНЫХ
ЗАЩИТ**
А.Ф. Прутик, Чан Хоанг Куанг Минь,
А.В.Шмойлов......95

**УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТОТЫ В
ПРОГРАММАХ РАСЧЕТА
УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ**
Э.В. Рагимов......97

**СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОБМОТКИ
ВОЗБУЖДЕНИЯ
СИНХРОННОЙ МАШИНЫ ОТ
ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ**
Розум Т.И., Полищук В.И......99

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ
СВОЙСТВ ГЕТЕРОФАЗНЫХ УДП
ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО
СИНТЕЗА**
Свечканева А.А.,
Колганова Ю.Л......101

**ПРИМЕНЕНИЕ ВСТАВКИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА
ПРИ ПОСТРОЕНИИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ,
ИСПОЛЬЗУЮЩИХ УСТАНОВКИ
ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**
Серебренников Д.А......103

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ
ЕМКОСТНОГО
НАКОПИТЕЛЯ В
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ
УСКОРИТЕЛЕ МАКРОТЕЛ**
Степанов Е.Ю......105

**АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬСТВА
ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
В МУЙСКОМ РАЙОНЕ
РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ**
Стреляев С.Е......107

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ
ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**
Стрыжков А. Е......109

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА
СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
С КОМПЛЕКСНЫМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ**

Сурков М.А.,
Пупасов-Максимов А.М.....111

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА
ОБОРУДОВАНИЯ И
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
МОЩНОСТИ МЕЖДУ
ГИДРОАГРЕГАТАМИ
С РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫМИ
ТУРБИНАМИ**

Твердохлебов Н.Н......113

**ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ
НАЙКВИСТА
К ИССЛЕДОВАНИЯМ
СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

Токарев И.С......115

**ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ
АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ РАЙОНА**

Фадеев В.А......117

**МОДЕРНИЗАЦИЯ САЯНСКИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ФИЛИАЛА ОАО МРСК СИБИРИ –
«ХАКАСЭНЕРГО» В СВЯЗИ С
ВВОДОМ ГАЗОТУРБИННОЙ
СТАНЦИИ НА БАЗЕ
НОВОМИХАЙЛОВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Феденёв Н.Н......119

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ
В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ С
ПОМОЩЬЮ СВЕТОВОДНЫХ
СИСТЕМ**

Филимонова Ю. В.,
Коржнева Т. Г.....121

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ
СРАБАТЫВАНИЯ
ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ
КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ**

Фролова Е.И......123

**ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСА
ЭНЕРГИИ В ИОННОМ
УСКОРИТЕЛЕ ТЕМП-4М**

Хайлов И.П., Исакова Ю.И.....125

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА
СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЭКВИВАЛЕНТОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ДЛЯ ВСЕРЕЖИМНЫХ
МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Т.С. Хомяков......127

**К ВОПРОСУ О СЕЛЕКТИВНЫХ
ЗАЩИТАХ ОТ ОДНОФАЗНЫХ
ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ
С КОМПЕНСИРОВАННОЙ
НЕЙТРАЛЬЮ**

Худякова И. А., Костарев И. А.....129

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕКОМЕНДАЦИИ
ДЛЯ НАСТРОЙКИ ОСНОВНЫХ
СТУПЕНЕЙ ДИСТАНЦИОННОЙ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ**

Чан Хоанг Куанг Минь......131

**РЕАЛИЗАЦИЯ СИНХРОННОГО
ЗАПУСКА И КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ ВЧ-ГЕНЕРАТОРОВ
СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗАЦИИ**

Черноусов Е.А......133

**СИЛЬНОТОЧНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ
ГЕНЕРАТОР**

Шаманин В.И......135

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВЧ – ГЕНЕРАТОРА ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ
Шишков И.В.,
Горешнев М.А.....137

РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ СИСТЕМНЫХ ВЭУ РЕГУЛЯТОРОМ НЕЧЕТКОГО ТИПА
Манусов В.З., Ядагаев Э.Г......139

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ВЭУ НА ГРАНИЦЕ II И III ЗОН РАБОТЫ
Манусов В.З., Ядагаев Э.Г......141

СЕКЦИЯ 2 ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ
Алимбекова С. А......145

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА
Анисимова А.Г......147

ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ
Анисимов Д.И......149

ОБУЧАЕМАЯ СТРУКТУРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОДА В ЧАСТОТУ НЕПРЕРЫВНОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
Антоненко А.В......151

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СТРУКТУР ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ
Бабкина Е.И.....153

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЛИДАР – ОСНОВАНИЕ»
Баженова Ю.Н......155

МАССОВЫЙ КОРИОЛИСОВЫЙ РАСХОДОМЕР
Баландин Е.А., Баландина Т.Н.....157

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАСШТАБНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
Баранов П. Ф., Газетова А. М.....159

ОДНООСНЫЙ ИНДИКАТОРНО-СИЛОВОЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР
Барашкина В.В......161

УСТРОЙСТВО РАЗВОРОТА ПЛАТФОРМЫ С ГИРОДАТЧИКОМ
Барбин Е.С......163

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИМПУЛЬСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ
Безшлях Д.Д., Кулешова М.С.....165

МОДУЛЬ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ <u>Бибасаров Д.С.</u>167	ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СВЕТОДИОДЫ <u>Воробьев В. А.</u>181
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ <u>Бурганова С.Я.</u>169	МЕТОД ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД <u>Гудков С.А.</u>183
КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ТЕНЗОМЕТРИИ <u>Бурков М.В., Любутин П.С., Бяков А.В.</u>171	ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ <u>Гуляев В.С.</u>185
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ ВЕТРА, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ВЕТРОУСТАНОВКАХ <u>Васильев Е.Н.</u>173	СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ <u>Гурин С.Ю., Дьяченко М.С.</u>187
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ И БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ <u>Вахрушев Д.В.</u>175	МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ P-N ПЕРЕХОДА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ ПО СПАДУ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ <u>Гущин В.А., Роденко О.Л., Мошкина А.В.</u>189
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭКСПРЕС ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ <u>Винтоняк Н.П., Федотов В.А., Семенов В.Д.</u>177	АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ <u>Гынгазова Г.С., Миляев Д.В.</u>191
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА НАХОЖДЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ КОНСЕНСУСА В МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ <u>Воробьева Н. В., Маринушкина И.А.</u>179	ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИНЫ НЕМАГНИТНОГО КАНАТА <u>Гынгазова Г.С., Миляев Д.В.</u>193
	ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОГО ПЬЕЗОЭФФЕКТА НА ПРИМЕРЕ КРИСТАЛЛА КВАРЦА И ПЬЕЗОКЕРАМИКИ <u>Денисова А.А.</u>195

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН НА
БАЗЕ УПРАВЛЯЕМОГО ПО
СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ-
МАХОВИКА СИСТЕМЫ
ОРИЕНТАЦИИ СТУДЕНЧЕСКОГО
МИНИСПУТНИКА**
Дмитриева Е.М......197

**РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЕФОРМАЦИОННОГО
ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВ:
КОРРЕЛЯЦИЯ ЦИФРОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ И СДВИГОВАЯ
СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ**
Еремин А.В., Бурков М.В......199

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО
ОРГАНА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
ДЛЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ
ОРБИТЫ**
Займукова Е.А.,
Шеболтаева Е.В......201

**АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
РАДИОКАНАЛОВ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ
СБОРА ДАННЫХ**
Кадалова Е.В......203

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ
РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
НОВЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ
СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ
СЕЛЕНИДА ЦИНКА**
Камрикова А.А.,
Вильчинская С.С......205

**ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ТОМСКЕ**
Китаева М.В.,
Охорзина А.В......207

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРА
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО
ОСАДКОМЕРА**
Кобзев А.А......209

**НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
УЛИЧНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ
СВЕТИЛЬНИКОВ ОАО НИИПП**
Козлова О.П., Яковлев А.Н......211

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИСТОЧНИК
НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА**
Красников И.В., Тригуб М.В.,
Торгаев С.Н......213

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОН-
ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ**
Бордулёв Ю.С., Лаптев Р.С.,
Лидер А.М......215

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ
С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ
КАЧЕНИЯ**
Макарова Н.В......217

**ВЫБОР НОВОГО МЕТОДА
ДИАГНОСТИКИ
МОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ
ПИЩЕВОДА**
Мельник С.С.,
Миляев Д.В......219

**ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ С
МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ**
Мирмаматов Э.З......221

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РАСХОДОМЕРА
ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА
ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ
РАСХОДА**
К.О. Назарова.....223

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ НА
ВОЗДЕЙСТВИЕ КАЧКИ**
Насонов С.В......225

**РАЗРАБОТКА
ОДНОКОМПОНЕНТНОГО
ФЕРРОЗОНДОВОГО
МАГНИТОМЕТРА**
Огай В.Е., Баранов. П.Ф.227

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМЫ
ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ
УЗЛА СКВАЖИННОГО ПРИБОРА**
Пакулько С.Ю......229

**ЛАБОРАТОРНЫЙ СКР-
СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ АНАЛИЗА
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
ГАЗОВЫХ СРЕД**
Петров Д.В......231

**РАСЧЕТ СВОТТЕХНИЧЕСКОЙ
ЧАСТИ УЛИЧНОГО
СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА**
Петухова Е.В., Акимов Б.В......233

**ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ**
Полунина Н.Ю., Полунин Е.П......235

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ
ИЗДЕЛИЙ**
Пудовкина Е.В., Антонов А.О......237

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА
СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ
ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА НА
ОСНОВЕ AVR
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА**
Рогожин К.В., Тригуб М.В......239

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ
«СИНИЙ СВЕТОДИОД-
ЛЮМИНОФОР»**
Роденко О.Л., Мошкина А.В......241

МАГНИТНЫЙ ИНКЛИНОМЕТР
Савкин Д.О......243

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ
ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ
МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНОЙ
ПЛАТФОРМЫ СОМРАСТ
FIELDPOINT**
Салих А.И......245

**МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ
ВНУТРЕННЕПРИСУЩИХ
ПРИЗНАКОВ МАТЕРИАЛА ДЛЯ
ЗАДАЧ СИСТЕМЫ УЧЕТА И
КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**
Седнев Д.А......247

**СКВАЖИННЫЙ ТЕРМОМЕТР-
МАНОМЕТР**
Семенов М.Ю......249

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ
ОРИЕНТАЦИИ
СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ**
Сёмкин И.М......251

**КОАКСИАЛЬНЫЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ
ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ**
Сидоренко А.Р.,
Левашкин А.Г......253

**УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
СИГНАЛА В СПУТНИКОВЫХ
СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

Сиротинина Ю.В......255

**НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ КОНТРОЛЬ
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО
СЛОЯ МЕТАЛЛА**

Солдатов А.А......257

**РАЗРАБОТКА ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ
ДЛЯ СИГНАЛЬНЫХ ОГНЕЙ
НАВИГАЦИОННОГО
ОГРАЖДЕНИЯ**

Стаханова К.А......259

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМЫ В ТРИОДЕ С
ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ**

Тимофеев А.А......261

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЕРКИ
СКВАЖИННЫХ СИСТЕМ
ОРИЕНТАЦИИ**

Ткачев В.Г......263

**СРАВНЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ
ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ
СВЕТОДИОДНЫМИ И
ТРАДИЦИОННЫМИ ЛАМПАМИ**

Толкачева К.П.,
Никитин В.Д......265

**ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ
ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ
БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ
ПРОЦЕССОВ, ЭКРАНИРОВАННЫХ
ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКОЙ**

Тригуб М.В......267

**СПОСОБ ЗАРЯДА ЕМКОСТНОГО
НАКОПИТЕЛЯ С УПРАВЛЕНИЕМ
ПО БАЛАНСУ ЭНЕРГИИ**

Файбусович А.С., Кожемяк О.А......269

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ
БЕЗЭЛЕКТРОЛИТНОГО
СУХОГО ЭЛЕКТРОДА СРАВНЕНИЯ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАЩИТНОГО
ПОТЕНЦИАЛА МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Файзуллин Р.Р., Иванов Ю.А......271

**ПОЛУЧЕНИЕ ДЛИННОГО
ИМПУЛЬСА ГЕНЕРАЦИИ В
ЛАЗЕРАХ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ**

Федоров К.В., Губарев Ф.А.,
Федоров В.Ф......273

**ВРЕМЯ СРАБАТЫВАНИЯ
ОПТИЧЕСКОГО ЛИМИТЕРА
НА БАЗЕ НАНОЧАСТИЦ**

Харенков В.А., Едреев И.А.,
Красилов М.Н......275

**СКВАЖИННАЯ СИСТЕМА
ОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ
МАГНИТОРЕЗИСТОРОВ**

Харитонов М.С......277

**ЭТАЛОННАЯ ПРОГРАММНО-
УПРАВЛЯЕМАЯ МЕРА
ОСЛАБЛЕНИЯ
ИНДУКТИВНОГО ТИПА**

Чебуренко Д.С......279

**СТАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
КАЛИБРОВКИ
БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ
В ИНЕРЦИАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Шаврин В.В., Конаков А.С......281

**АППАРАТНОЕ ОСНАЩЕНИЕ
БАЙКАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНО-
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ.**

АВТОНОМНАЯ СТАНЦИЯ
Шамрин А.М., Щеголев Ю.А......283

**РАСЧЕТ РАСХОДА ГОРЯЧЕЙ И
ХОЛОДНОЙ ВОДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО
РАСХОДОМЕРА**
Шрейбер Д.А., Назырова З.А,
Мороков И.А.....285

**АППАРАТНОЕ ОСНАЩЕНИЕ
БАЙКАЛЬСКОЙ
АТМОСФЕРНО-
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ.
БЕРЕГОВАЯ СТАНЦИЯ**
Щёголев Ю.А., Шамрин А.М.....287

СЕКЦИЯ 3 ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО
ГЕНЕРАТОРА НА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ
МЕХАНИЗМОВ**
Ангаткина О.О......291

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА ТИТАНА
ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**
Коровянский А.В., Сачков В.И.,
Макаеев Ю.Н.....303

**ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ
ПОРОШКОВ**
Гурин С.Ю......293

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ
ФАСОК У ДЕРЕВЯННЫХ КУБИКОВ**
Манеев А.С., Крауиньш П. Я.,
Мымрин Н. Ю.....305

**РЕДУКТОР ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ
РАМКИ АНТЕННЫ**
Ермаков Д.В......295

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ**
Петров В.С......307

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА
ЗАЩИТЫ ЗОНЫ СВАРКИ
ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**
Чинахов Д.А., Зуев А.В.....297

**КОРРЕКТИРОВКА УГЛА
СКАНИРОВАНИЯ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ
ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**
Пушкарев М.С., Стреминский А.С.,
Глиненко Е.В.....309

**СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ
ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ**
Ивкина О.П., Черемнов А.В.....299

**АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ИНСТРУМЕНТА С ПОВЫШЕННОЙ
ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРИ
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ
ФРЕЗЕРОВАНИИ**
Рожков П.С., Коровин Г.И.
Сикора Е.А.....311

**ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ
НАПРЯЖЕНИЙ НА
ДЕФОРМИРУЮЩИЙ
ИНСТРУМЕНТ ПРИ ВОЛОЧЕНИ
КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ**
Колесникова С.Ю.,
Сергеев Ю.А.....301

**ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ
ДИСКА КУЛЬТИВАТОРА
В НЕОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ**
Романишина С.А., Стецюк В.И.,
Романишин О.Ю......313

**АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ
КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОНЕНО-
ЭЛЕМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ
DEFORM-2D**
Сергеев Ю.А.,
Колесникова С.Ю......315

**КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ
РЕДУКТОР С ТОРЦЕВЫМИ
ШАРОВЫМИ ЗУБЬЯМИ**
А. В. Симачева......317

**МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФЕКТОВ
ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ВИП**
Тыртышный Д.П......319

**КОМПАКТИРОВАНИЕ
НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ
НИТРИДА ТИТАНА
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО
СИНТЕЗА МЕТОДОМ ИСКРОВОГО
ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ**
Усиков А.И., Герасимов Д.Ю.,
Евдокимов А.А......321

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ
ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ
МЕТОДОМ СПЕКЛ-
ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**
Филиппов А.В.,
Проскоков А.В......323

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ
ДЛЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ**
Халикова Г.Р......325

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ МОДЕЛИ ПРИВОДА
ПОДАЧ МАЛОГАБАРИТНОГО 3-Х
КООРДИНАТНОГО
ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА**
Цыганкова М. В......327

**ОБЗОР ВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ**
Пашков Е.Н., Черкасов С.О.,
Загороднев Р.А......329

**ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ТРУБ ИЗ
СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ С ДЕФЕКТАМИ**
Чермошенцева А.С.,
Булдакова Е.С......331

**АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ**
Р.В. Чернухин......333

**РАЗРАБОТКА ЗАГРУЗОЧНОГО
УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ
ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНОЙ
ПРОДУКЦИИ**
Щершнева К.В.,
Симанкин Ф.А......335

**ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛОВОГО ШАГА
СКАНИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА**
Щербанский А.П.,
Гончаров И.С., Мухин Д.С......337

**УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ПРИ СВАРКЕ**
Щербинина А.А.,
Соколов А.П......339

**ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВТОРОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА
ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ**
Ямилева А.М.341

СЕКЦИЯ 4 ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ
ДЕМПФИРОВАНИЕ ШАГОВОГО
ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА
ВОЗДУШНОЙ ЗАСЛОНКИ**
Белякин В.В., Трусев Е.В......345

**АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ТРОЛЛЕЙБУСОВ
В УСЛОВИЯХ СИБИРИ**
Болгов И.С......347

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ
ОПТИМАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРИ РАСЧЕТАХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА**
Валеева О.Р......349

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ
НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗАКОНОМ
ДВИЖЕНИЯ**
Воронина Н.А......351

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ
ЦЕЛОСТНОСТИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**
Высоцкий С.Э......353

**ПРОГРАММНО-
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ
МНОГОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ**
Глухов Д.М., Любимцев А.С.,
Воронков И.С......355

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ
НЕФТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА
ОТСТАИВАНИЯ**
Ермаков И.С......357

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
ТОРЦЕВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ
РОТОРА АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ**
Замчалкин А.С......359

**ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОГО
ЭЛЕМЕНТА МОМЕНТНОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**
Иванова А.Г......361

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
МОМЕНТА ВЕНТИЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ
МАГНИТАМИ**
Калинкин Д.Ю., Чайка Ю.Г......363

**СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ
ПОСТОЯННОЙ
ВРЕМЕНИ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ
ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**
Клабуков Р.П......365

**ОСОБЕННОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ
ВЕНТИЛЯТОРОВ
С УЛУЧШЕННЫМИ
ВИБРОРЕСУРСНЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**
Колесников А.В.,
Филимонов А.В......367

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ <u>Корнеев К. В.</u>369	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ В АВТОНОМНОМ ЗАРЯДНОМ КОМПЛЕКСЕ <u>Плиска И.Н.</u>385
СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ <u>Кузякин С.В.</u>371	ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ <u>Попов В.Ю.</u>387
НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ <u>Кунулеков Д.С.</u>373	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ИЗОЛЯТОРА ДУГОГАСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ВГТ-220 НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ <u>Сабирджанов Р.М.</u>389
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА <u>Ломаева Ю. В.</u>375	ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ <u>Стругов В.В.</u>391
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА <u>Михайлов И.Ю.</u> , <u>Федянин А.Л.</u>377	ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПЛАСТИНЫ НА ВИД СИЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ <u>Татарникова К.А.</u> , <u>Екимова О.Ю.</u>393
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ <u>Музер К. Г.</u>379	РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ <u>Терехина О.В.</u>395
ПИТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ГИРОМОТОРА ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ <u>Нгуен Чонг Иен.</u> , <u>Бу Доан Кет.</u>381	МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ <u>Тимошкин В.В.</u> , <u>Глазырин А.С.</u> , <u>Глазырина Т.А.</u>397
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ <u>Паюк Л.А.</u>383	ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ <u>Ткачук Р.Ю.</u> , <u>Глазырин А.С.</u>399

**МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ
ДАТЧИК ДЛЯ КОСВЕННОГО
ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ В
ШАГОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**
Трусов Е.В......401

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭНЕГОЭФФЕКТИВНЫХ
АСИНХРОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАЛОШУМНЫХ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ**
Уварова Т.С......403

**АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ
ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА**
Фисюнова Е.В......405

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛИФТА**
Щачнев П.А......407

**ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ**
Шпет Н. А......409

**ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС ДЛЯ НАСТРОЙКИ
И ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ
АВТОМАТИКИ**
Рубан Н.Ю......411

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ
АППАРАТУРЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ
АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ
ПАРАМЕТРОВ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА**
Порубов Д.А......414

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

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

В трех томах

Том 1

Компьютерная верстка Зольникова Е.К.

Дизайн обложки А.М. Петелин

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.06.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. 49,7. Уч.-изд. л. 44,82.

Заказ 000-12. Тираж 150 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru