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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

14–18 апреля 2014 г.

В трех томах

Том 1

Томск 2014

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

Современные техника и технологии: сборник докладов XX Международной юбилейной научно-практической конференции студентов, аспи-
С56 рантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 387 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.

Сборник докладов XX Международной юбилейной научно-практической конференции «Современные техника и технологии» издан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-06810, направление «мол _г_1».

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Редакционная коллегия сборника:

Сидорова О.В., эксперт ЦНК УМАД НУ
Сивков А.А., д.т.н., проф. каф. ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1
СилушкинС.В., ст. преп. каф. 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., проф. каф. ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4
Евтушенко Г.С., д.т.н., проф., зав. каф. ПМЭ ИНК, председатель секции № 5

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

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2014
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2014

СЕКЦИЯ 1

Электроэнергетика

SECTION 1

Power industry

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Бай Ю.Д..
Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shm_av@rambler.ru

Знание полных вероятностных характеристик или законов распределения вероятностей (ЗРВ) эксплуатационных и ресурсных параметров и процессов позволяет просто и надежно определять риски (вероятности) перегрузки, аварийной потери и разрушений за счет превосходства фактическими величинами регламентных эксплуатационных пределов, либо вследствие снижения ресурсных параметров относительно регламента. Данные риски находятся как вероятности принятия параметрами как случайными величинами значений из интервалов превосходства или снижения. Делается это .с помощью таких математических выражений ЗРВ как функции распределения вероятностей (ФРВ) и плотности распределения вероятностей (ПРВ) интересующих параметров процессов и режимов.

Интересующие параметры электроэнергетики: параметры стационарных режимов, электрические величины при повреждениях, показатели функциональной надежности, небалансов и дефицитов активной мощности распределительных устройств, электростанций, подстанций, районов и в целом энергосистем, показатели и характеристики трансформаторных и линейных связей, уставки релейной защиты и автоматики и др. являются функциональными зависимостями (ФЗ) нескольких или многих аргументов или исходных данных. В частности, параметры режимов: потоки активной и реактивной мощности в ветвях, величины и углы напряжений в узлах электрической сети являются ФЗ активной и реактивной мощности многочисленных нагрузочных узлов, активной мощности и напряжений генераторных узлов.

Получение ФРВ и ПРВ интересующего параметра принципиально возможно статистическим путем. Однако ФЗ последнего в случае параметров режимов определяется массовым количеством аргументов, которые также случайным образом принимают свои значения и обусловливают необозримое количество значений ФЗ интересующего параметра. Практически экспериментальная реализация статистической представительности этих значений невозможна. В связи с этим следует рассмотреть расчетный путь получения ФРВ и ПРВ функциональной зависимости интересующего параметра. Для этого необходим знать ФРВ и ПРВ каждого аргумента. В отличие от параметров режимов как интересующего параметра это вполне реально, т.к. параметры узлов обладают существенно меньшим количеством значений по сравнению с параметрами режимов. К тому же известны виды ЗРВ узловой информации – это, как правило нормальный и равномерный ЗРВ, параметры которых просто определяются по наблюдаемым минимальным и максимальным значениям. Следовательно, практически не нужна статистика для определения ЗРВ аргументов. При известных ЗРВ аргументов и известной ФЗ параметров режимов естественным является предложение разработать метод формирования ЗРВ функциональных зависимостей параметров режимов по ЗРВ аргументов. ФЗ. Такой метод был разработан и назван селекцией границ интервалов входных и выходных данных (СГИД). Одна из его модификаций представлена в [1].

Суть метода СГИД основывается на интуитивном, но логичном предположении, что если все аргументы ФЗ задать как равновероятные, то результат преобразования ФЗ будет иметь ту же вероятность. Реализация данной процедуры может быть осуществлена через ФРВ и ПРВ каждого аргумента и результата преобразования ФЗ. ФРВ при этом как неубывающая функция случайного объекта гарантирует однозначность всех задаваемых и получаемого данных (значений), а ПРВ при этих данных (значениях) обеспечивает сопоставление каждого из указанных данных (аргументов и ФЗ) в виде равенства вероятностей принятия значений из интервалов, пристыкованных соответственно одной из своих границ к аргументам неубывающих одномерных ФРВ. Вторыми границами соответственно являются также аргументы указанных ФРВ, определяемых, исходя из равенства вероятностей принятия значений каждым данным (исходным данным-аргументом и выходным данным-ФЗ), вычисляемым по ПРВ каждого из этих данных. Границы интервалов аргументов и получаемого результата преобразования ФЗ жестко зафиксированы квантилями порядков, определяемых одинаковыми значениями своих ФРВ и одинаковыми вероятностями принятия значений из этих интервалов. При этом порядок квантилей или ФРВ аргументов и на другой (правой) границе интервалов находятся путем прибавления к одинаковым значениям ФРВ на предыдущей (первой) границе интервалов одинаковых вероятностей принятия значения из этих интервалов, а результата преобразования ФЗ − путем прибавления или вычитания такой же

вероятности в зависимости от возрастания или убывания ФЗ при возрастании ее аргументов.

Далее для представленного принципиального обоснования метода СГИД дана последовательность вычислений для получения значений ПРВ и ФРВ функциональной зависимости параметров режимов.

Предварительно формируются параметры ЗРВ исходных данных или аргументов, например, активной загрузки нагрузочных узлов сети в виде нормального ЗРВ:математическое ожидание (МО)

$$\mathrm{m}(N_i)=\frac{n_{i\text{а}}+n_{i\text{и}}}{2}=\frac{n_{ip_1}+n_{ip_2}}{2},$$

и среднеквадратическое отклонение (СКО)

$$\sigma(N_i)=\frac{n_{i\text{а}}-n_{i\text{и}}}{2}=\frac{n_{ip_1}-n_{ip_2}}{2},$$

где индексами «а» и «и» обозначены соответственно максимальное и минимальное наблюдаемые значения исходных данных-аргументов, которые также обозначены как квантили порядков $p_1=0,99865$ и $p_2=0,00135$.

Далее путем статистического моделирования формируются варианты исходных данных как квантили порядков $p=0;\ 0{,}05;\ 0{,}10;\ 0{,}15;\ \ldots\ 0{,}95$ с шагом, например $h=0{,}05$. В результате получают квантили при нормальном ЗРВ, например, для активной мощности нагрузочного i-го узла:

$$n_{ip}=\mathrm{m}(N_i)+\sigma(N_i)\Phi^{-1}(p-0,5)$$

$$n_{i0}=0,\ n_{i0,05}=\mathrm{m}(N_i)+\sigma(N_i)\Phi^{-1}(0,05-0,5),$$

$$n_{i0,10}=\mathrm{m}(N_i)+\sigma(N_i)\Phi^{-1}(0,10-0,5),\ \ldots$$

Аналогично для реактивной мощности нагрузочного i-го узла $q_{ip}=\mathrm{m}(\mathrm{Q}_i)+\sigma(\mathrm{Q}_i)\Phi^{-1}(p-0{,}5)$, для активной мощности генераторного k-го узла

$$n_{\text{гкр}}=\mathrm{m}(N_{\text{гк}})+\sigma(N_{\text{гк}})\Phi^{-1}(p-0,5),$$

для величины напряжения генераторного k-го узла $u_{\text{гкр}}=\mathrm{m}(U_{\text{гк}})+\sigma(U_{\text{гк}})\Phi^{-1}(p-0,5)$.

Варианты исходных данных, определяемые конкретными значениями порядка p подставляют в выражение или программу вычисления ФЗ. В случае программы ФЗ для расчета параметров режимов в составе исходных данных должны быть также заданы величина и угол напряжения балансирующего узла. Обычно в расчетах угол этого напряжения принимают нулевым, а величину – в виде постоянной, например, номинальной

В результате получают квантили ФЗ параметров режимов как квантилей таких же порядков как и исходных данных, например, потока активной мощности в k-й ветви между узлами s и t, т.е.

$$n_{stkp}=\varphi_{stkp}(n_{ip},\ q_{ip},\ \ldots\ n_{\text{гкр}},\ u_{\text{гкр}},\ u_{\text{б}},\ \psi_{\text{б}})$$

$$n_{stk0}=0,\ n_{stk0,05},\ n_{stk0,10},\ n_{stk0,15},\ \ldots$$

По полученным данным осуществляется построение ФРВ $f_{stkp}(n_{stkp})$ и ПРВ $c_{stkp}(n_{stkp})$ интересующего параметра режимов, например, потока активной мощности в ветви *stk*:

$$f_{stkp}(n_{stkp})=p,$$

$$f_{stk0}(n_{stk0})=0,\quad f_{stk0,05}(n_{stk0,05})=0,05;$$

$$f_{stk0,10}(n_{stk0,10})=0,10;\ f_{stk0,15}(n_{stk0,15})=0,15;\ \ldots$$

$$c_{stkp}(n_{stkp})=\frac{f_{stk(p+h)}(n_{stkp+h})-f_{stkp}(n_{stkp})}{n_{stkp+h)}-n_{stkp}},$$

$$c_{stk0}(n_{stk0})=\frac{f_{stkh}(n_{stkh})-f_{stk0}(n_{stk0})}{n_{stkh}-n_{stk0}},$$

$$c_{stk0,05}(n_{stk0,05})=\frac{f_{stk(0,05+h)}(n_{stk(0.05+h)})-f_{stk0,05}(n_{stk0,5})}{n_{stk(0,05+h)}-n_{stk0,05}},$$

$$c_{stk0,10}(n_{stk0,10})=\frac{f_{stk(0,10+h)}(n_{stk(0.10+h)})-f_{stk0,10}(n_{stk0,10})}{n_{stk(0,10+h)}-n_{stk0,10}},$$

$$c_{stk0,15}(n_{stk0,15})=\frac{f_{stk(0,15+h)}(n_{stk(0.15+h)})-f_{stk0,15}(n_{stk0,15})}{n_{stk(0,15+h)}-n_{stk0,15}}.$$

В [1] представлены модификации метода СГИД при известных видах ЗРВ функциональных зависимостей, при которых нет необходимости определять все значения ЗРВ и ПРВ. Достаточно найти параметры этих ЗРВ, количество которых незначительно – один, два. Поэтому объем вычислений незначителен. В общем случае, изложенном в представленном материале, количество расчетов значительно больше. Поэтому целесообразно оснащение существующих промышленных программ для вычисления различных функциональных зависимостей модулями по расчету ЗРВ этих зависимостей. В изложенном варианте метода СГИД получаемые отсчеты ЗРВ формируются как дискретные значения, для которых необходимо сглаживание кривых.

Внедрение метода СГИД позволит решить ряд практических задач, известных в литературе как задача Парето, в том числе режимных задач электроэнергетики.

Литература:

1. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики», 2008, № 7 – 8/1. – с. 146 – 157.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Бойко К.Н., Манусов В.З.
Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: bkn08@rambler.ru

Информация о погоде является важным фактором в моделях прогнозирования нагрузки. Как правило, модели прогнозирования нагрузки построены и испытаны с использованием фактических показаний погоды. Тем не менее, онлайн прогнозирование нагрузки требует использование прогнозирования погоды, с сопутствующими ошибками в её прогнозировании. Эти ошибки неизбежно приведут к снижению эффективности моделей. Это является важным фактором в прогнозировании нагрузки, но не описано широко в литературе. Основная цель этого статьи заключается в представлении анализа влияния метеофакторов на изменения электропотребления; данная информация в последующем будет использована при прогнозировании электропотребления.

Существенное влияние на электропотребление оказывают метеорологические факторы (МФ) - в первую очередь температура и освещенность, которая в свою очередь сильно зависит от количества осадков, так как в период осадков идёт резкое снижение освещённости. Они в значительной степени определяют глубокие сезонные колебания и суточную неравномерность графиков потребления. Устойчивые сезонные и суточные циклы колебаний МФ и их влияние могут быть представлены в аналитическом виде и использоваться при разработке прогнозов ожидаемых значений потребления на всех циклах планирования и управления режимами [1].

В качестве исходных данных возьмём следующие статистические выборки за 12 месяцев:

- Электропотребление Рис.1.
- Количество осадков Рис.2.
- Температура воздуха Рис.3.

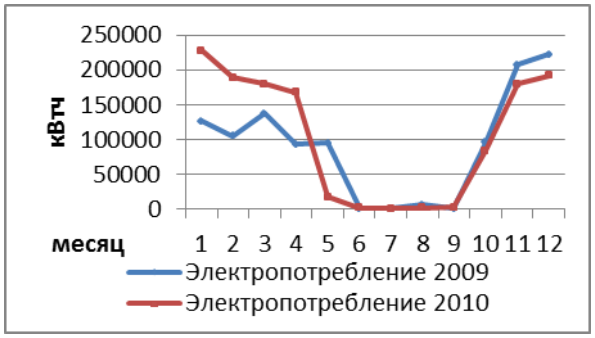


Рис.1. Электропотребление в 2009 и 2010 г.

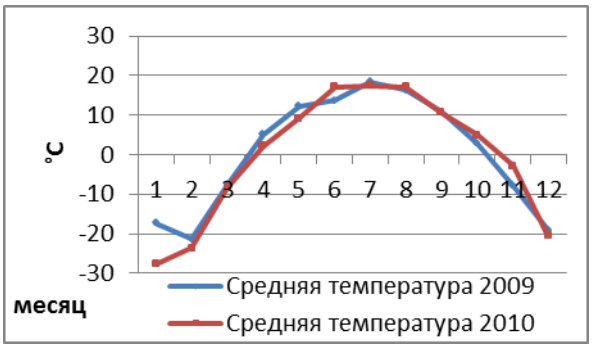


Рис.2. Средняя температура в 2009 и 2010 г.

Рис.3. Количество осадков в 2009 и 2010 г.

Коэффициент влияния температуры, используемый энергообъединениями на практике для анализа и прогноза потребления достаточно стабилен – диапазон колебаний 0,5 - 1 % на 1 градус (° С) [2]. На практике данные значения не всегда совпадают с реальностью из за влияния на изменение электропотребления множества факторов, а так же не однородности влияния МФ для разных климатических зон. Таим образом для более точного прогнозирования электропотребления необходимо использовать динамические коэффициенты влияния МФ на изменение значений электропотребления.

Для анализа влияния МФ на электропотребление строится тренд зависимости изменение электропотребления от изменение МФ. В ряде статей применяется линейный тренд для оценки данной зависимости, который не даёт точного результата при большой стохастичности. В ходе ранее проведённого анализа, был сделан вывод, что наиболее приемлемым видом тренда для оценки вышеуказанной зависимости будет полиномиальный тренд третье степени.

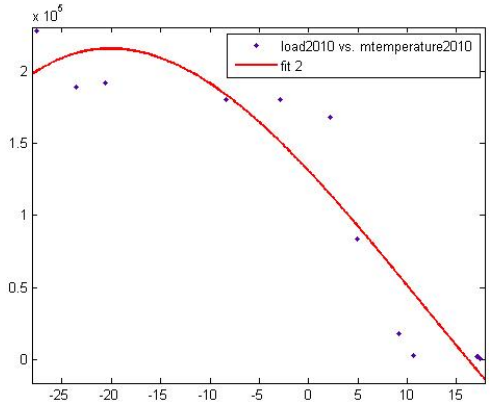


Рис.4. Изменение электропотребления в зависимости от средней температуры 2010 г.

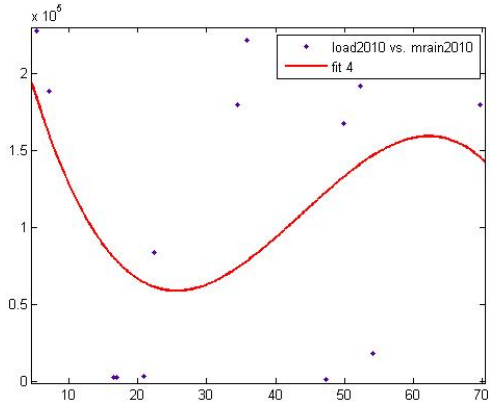


Рис.5. Изменение электропотребления в зависимости от количества осадков 2010 г.

Далее решая полиномиальные уравнения для двух зависимостей получаем количественную величину изменения электропотребления от месяца к месяцу в зависимости от изменения МФ. Изменение электропотребления в январе 2010 г. рассчитывается относительно электропотребления декабря 2009 г.

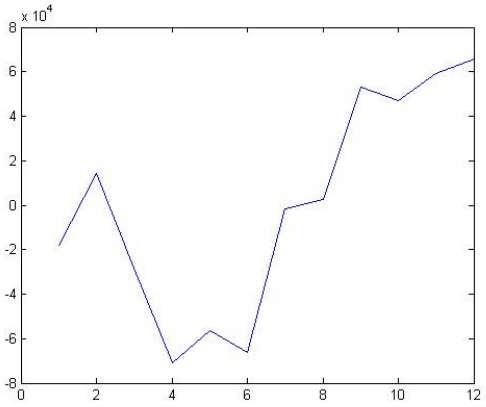


Рис.6. Прирост электропотребления от месяца к месяцу относительно изменения средней температуры 2010 г.

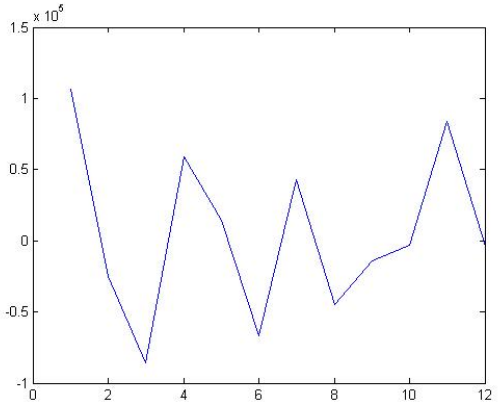


Рис.7. Прирост электропотребления от месяца к месяцу относительно изменения количества осадков 2010 г.

Сделаем промежуточные выводы по Рис. 6 и Рис.7

- Увеличение нагрузки в августе, сентябре, ноябре и декабре носит температурный характер
- Построение тренда для количества не оправдывает себя; вероятно, это связанно с большой стохастичностью этих параметров.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- Изменение электропотребления в первой половине 2010 года носит полностью температурный характер.
- Изменение электропотребления во второй половине 2010 года не так явно зависит от изменения температуры, что можно объяснить установлением стабильной минусовой температуры.
- Для анализа влияния на электропотребление таких непостоянных МФ как количество осадков необходимо применять полином большего порядка.
- Необходим сбор и обработка МФ. Их учёт способен существенно повысить точность прогнозов и соответственно повысить эффективность планирования и управления режимами.

Список литературы

1. Saaty T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process//Management Science. 1986, July. – Vol. 32, №7. – P. 841-855.

2 Макоклюев Б.И., Федоров Д.А. Оперативное прогнозирование нагрузки ЭЭС с учетом метеофакторов. Советчики диспетчеров по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС. Иркутск, 1984.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ

Бухаркин А.А., Коряшов И.А., Мартемьянов С.М.
Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: amplexor@ya.ru

Использование твердых топлив в качестве энергетического сырья влечет за собой неблагоприятные экологические последствия в связи с утилизацией большого количество шлака, строительством шахт и карьеров, итогом чего становятся высокие затраты на освоение. Однако вследствие своих огромных запасов и распространенности твердые топлива весьма перспективны для переработки. Получение жидких и газообразных энергоносителей из твердого энергетического сырья позволит снизить негативное экологическое влияние и расходы на разработку. Особенно выгодно в этом свете выглядят горючие сланцы, распространенность и запасы которых велики. Добыча сланцев традиционными способами практически не ведется по причине их высокой зольности и как следствие нерентабельности. К тому же соотношение органической и минеральной компонент и физико-химические свойства горючих сланцев существенно отличаются от месторождения к месторождению. Поэтому для эффективной переработки сланцев необходимо их всестороннее исследование. В основе существующих способов конверсии твердых ископаемых топлив в жидкие и газообразные энергоносители лежат два явления: пиролиз [1,2,3] и топохимическое преобразование [4,5].

Последнее осуществляется подачей дутья и частичным окислением органической компоненты твердых топлив. В результате происходит потеря части энергии, а так же увеличивается содержание балластного газа в конечном продукте. Таким образом, пиролизом можно получать более энергоемкие продукты. Основная задача, которую необходимо решить для реализации пиролитической конверсии – нагрев твердого сырья до температуры термодеструкции. Один из наиболее эффективных и высокотехнологичных способов нагрева – джоулево тепло непосредственно в объеме твердых топлив, но в связи с их высоким электрическим сопротивлением ($10^9 \div 10^{10}$ Ом·см) [6] протекание тока через породу невозможно.

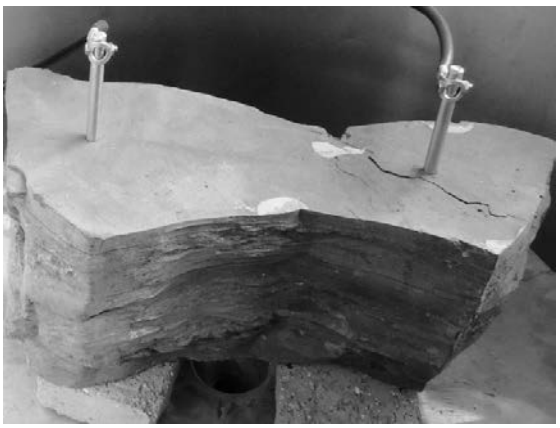
Согласно исследованиям Агроскина А.А. [6] при нагревании некоторых видов твердых топлив до 900°С происходит обогащение исходного материала углеродом, в связи с чем сопротивление породы падает на 7÷8 порядков до $10^2 \div 10^3$ Ом·см и остается практически неизменным после охлаждения.

В результате экспериментов по нагреву горючих сланцев и бурых углей электромагнитным воздействием были обнаружены электроразрядные явления в этих видах топлив, позволяющие существенно снизить электрическое сопротивление материала без использования внешних нагревателей. Под действием невысокой (~10^2 В/см) напряженности в породе инициируются частичные разряды (ЧР), представляющие собой локальные разряды по поверхности, электрический пробой инородных включений и микро- и макроскопических пор [7, 8]. При длительном существовании ЧР в сланцах и углях происходит триинг, т.е. рост древовидных разрядных структур, называемых дендритами [7, 8, 9]. Результатом триинга является завершенный разряд в межэлектродном промежутке и образование плазменного канала. Под действием плазмы ЧР при триинге и пробоя наблюдается карбонизация, то есть насыщение породы углеродом. В результате пиролитического разложения керогена (органической составляющей породы), состоящего преимущественно из [10] углерода, водорода и кислорода, происходят многократные химические превращения, часть углерода не реагирует и его концентрация увеличивается. Это приводит к появлению области низкого сопротивления вокруг дендритов и разрядного канала (рис. 1б). Таким образом, в момент пробоя сопротивление межэлектродного промежутка резко снижается на 7÷10 порядков. После карбонизации некоторого объема породы дальнейшая термодеструкция происходит за счет джоулева тепла создаваемого протекающим в этом объеме током.

Для инициации электроразрядных явлений использовался высоковольтный источник напряжения до 10 кВ. Электромагнитное поле вводилось в образец посредством стальных стержневых электродов диаметром 10 мм (рис. 1а). После образования дендритами в межэлектродном промежутке устойчивого проводящего канала в образец вводился ток ~40 А и поддерживалась постоянная мощность ~1 кВт.

С целью определения удельного сопротивления карбонизированного объема из трех образцов горючих сланцев Хуаданьского месторождения (КНР, провинция Цзилинь), подвергшихся воздействию плазмы, были отделены обуглившиеся фрагменты породы близкой к кубической формы с характерным размером ~20 мм. Для измерения каждый фрагмент зажимался между двух медных пластинчатых электродов, с целью снижения влияния контактного сопротивления использовалась токопроводящая графитовая

смазка. По результатам измерений, проведенных на трех образцах, удельное сопротивление карбонизированного объема составило 10÷100 Ом·см.



а

б

Рисунок 1. а – фрагмент породы горючих сланцев перед экспериментом, б – фрагмент породы горючих сланцев после воздействия плазмы, линией выделен карбонизированный объем.

Таким образом, ЧР возникают в горючих сланцах при невысокой напряженности. Под действием ЧР при триинге и завершенного разряда происходит термодеструкция керогена и наблюдается карбонизация. Карбонизированный объем имеет весьма низкое электрическое сопротивление и может быть использован в качестве резистивного нагревателя интегрированного в объем породы. Этот эффект можно использовать для подземной пиролитической конверсии сланцевых пластов в горючий газ и синтетическую нефть, в том числе непосредственно на месте залегания

Литература

1. Пат. 2259384 Российская Федерация, МПК 7 C10B1/04, C10J3/20, C10J3/48. Установка для производства высококалорийного пиролизного газа и угля из углеродсодержащих материалов / Стребков Д. С. и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ. – № 2003133966/15; заявл. 25.11.03; опубл. 27.08.05.
2. Пат. 2349745 Российская Федерация, МПК E21B43/24 (2006.01). Способ обработки подземного пласта для конверсии органического вещества в извлекаемые углеводороды / Саймингтон В. А. и др.; заявитель и патентообладатель Эксонмобил Апстрим Рисерч Компани. – № 2006101868/03; заявл. 14.04.04; опубл. 20.03.09.
3. Field testing of electrofrac process elements at ExxonMobil’s colony mine / W.A. Symington, J.S. Burns, A.M. El-Rabaa et al. // 29th Oil Shale Symposium. – 2009.
4. Пат. 2495912 Российская Федерация, МПК C10J3/48 (2006.01). Реактор газификации и способ газификации в потоке / Коволль Й. и др.; заявитель и патентообладатель УДЕ ГМБХ. – № 2010115329/05; заявл. 18.09.08; опубл. 20.10.13.
5. Пат. 2066748 Российская Федерация, МПК 6 E21B43/295. Способ нагнетательно-отсосной подземной газификации угольного пласта / Крейнин Е. В., Блиндерман М. С. ; заявитель и патентообладатель Инд. ЧП - НТЦ "Полигаз". – № 93014894/03 ; заявл. 11.03.93 ; опубл. 20.09.96.
6. Агроскин А.А., Петренко И.Г. Определение электросопротивления углей и сланцев при нагревании //Заводская лаборатория. -1948. № 7. С.807-812.
7. Кучинский, Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия. Ле-нингр. отд-ние, 1979. – 224 с., ил.
8. Dissado, L.A. Electrical degradation and breakdown in polymers / L.A. Dissado, J.C. Fothergill. - London: Peter Peregrinus Ltd., – 1992. – p. 601.
9. Носков, М.Д. Формирование лапласовских структур в неравновесных условиях / М.Д. Носков. – г. Северск: Изд. СГТИ, - 2005. – 218 с.
10. Стрижакова, Ю.А. Горючие сланцы. Генезис, составы, ресурсы. / Ю.А. Стрижакова. – М.: Недра, 2008. – 190 с.

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Васильева Ю.З.
Научный руководитель: Полищук В.И., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasilevayz@gmail.com

С развитием современных стратегий организации работ по техническому обслуживанию и ремонту основного электротехнического оборудования подстанций и линий электропередач все большее распространении приобретает концепция ремонтов «по техническому состоянию» [1]. В этой связи все большее применение находит техническая диагностика. Экономический эффект от использования диагностики высоковольтного оборудования связан с её способностью определять текущее техническое состояние и остаточный ресурс оборудования, выявлять дефекты на ранней стадии их развития и влиять на объём ремонтных работ. Из множества методов технической диагностики предпочтительнее автоматизированные методы, контролирующие состояние работающего под напряжением оборудования [2-4].

Одним из перспективных методов диагностики, способным определить техническое состояние объекта и отследить динамику развития дефектов, является анализ изменения электромагнитного излучения, исходящего от электротехнического оборудования.

Цель исследования – выявление дефектов высоковольтного оборудования путем анализа спектральных характеристик сигналов, измеренных датчиком электромагнитного излучения.

Постановка задачи:

1. Получить массив диагностической информации о состоянии электромагнитного поля объекта;
2. Составить алгоритм обработки данных;
3. Выявить диагностический признак конкретного вида дефекта.

В основе идеи мониторинга высокочастотного электромагнитного излучения высоковольтного оборудования лежит выявленная зависимость интенсивности проявления электрических разрядов, от возрастания деградации изоляции и появления дефектов в элементах конструкций.

Оценка технического состояния оборудования на основе спектрального анализа высокочастотных составляющей сигналов электромагнитного излучения, имеет ряд несомненных преимуществ перед известными способами.

- информация о наличии дефекта появляется на самой ранней стадии его возникновения, когда зарегистрировать его другими методами невозможно.
- в высокочастотной области практически всегда удается отстроиться от помех, источником которых являются коронные разряды (КР), поверхностные частичные разряды (ЧР), высокочастотная связь и т.д.
- возможна разработка методик обладающих широкими возможностями с точки зрения регистрации как внутренних, так и наружных дефектов оборудования.

Время действия КР, а также поверхностного ЧР составляет порядка десятков наносекунд и более, в то время как длительность протекания тока ЧР во внутренней изоляции – единицы наносекунд. Излучателями собственного электромагнитного излучения являются элементы конструкции оборудования, которые по существу выполняют роль вибраторных антенн. Учет характеристик этих антенн, их резонансных частот позволяет уточнить место расположения дефекта. Таким образом, верхняя часть собственного электромагнитного излучения может быть разделена на участки, характерные для отдельных источников излучений. Импульсы от разрядов имеют различные амплитуды и постоянные времени, поэтому спектры электромагнитного излучения, обусловленные серией импульсов, полимодальны.

Устройство диагностики трансформатора состоит из приемной антенны электромагнитного излучения, коннектора ввода, платы ввода/вывода, компьютера с монитором. Объектом исследования являлся автотрансформатор АТДЦТН-500000/500/220 установленный на ОРУ 500/220 кВ Экибастузской ГРЭС-1.

Информация о появлении дефектов изоляции в обмотках автотрансформатора должна немедленно появиться в спектре регистрируемого электромагнитного поля.

Излучающими элементами конструкций выступают изолированные от заземленного бака высоковольтные вводы, спуски, заключенные в изоляторах проводники, и т.д. В нашем случае излучающими антеннами являются ввода 500 кВ, 220 кВ и ввод земли.

Размеры вводов выступающих в качестве излучающих проводников равны: 4,24 м, 2,72 м, 0,59 м и 0,44 м.

Ввода в нашем случае являются излучающими антеннами с резонансными частотами излучения на уровне

$$(f_{pi})_n = nc / (4h_i),$$

где i = 1, 2, …, i_{max} – ввод; n = 1, 2, 3,… – номер гармоники ряда Фурье; c – скорость света в м/с; h_i – высота i-го ввода, м.

Полезной информацией обладают полосы частот $(\Delta f_p)_n$ которые можно определить как $(\Delta f_{pi})_n = (f_{pi})_n/Q_{in}$, где Q_{in} – эквивалентная добротность антенны находящаяся в диапазоне от 2 до 5.

В табл. 1 приведены данные об информативных частотных диапазонов для первых резонансных частот вводов автотрансформатора 500 кВ.

Таблица 1

Диапазон частот и информационных частотных полос для автотрансформатора 500 кВ

Номер ввода	Ширина информ. частотной полосы, МГц	Границы частотной полосы, МГц	Частота основного резонанса, МГц
Ввод 1, 500кВ	$(\Delta f_{p1})_1$=5	от 15,2 до 20,2	$(f_{p1})_1$=5
Ввод 2, 220 кВ	$(\Delta f_{p2})_1$=8	от 23,6 до 31,6	$(f_{p2})_1$=8
Ввод 3, земля	$(\Delta f_{p3})_1$=36	от 110 до 146	$(f_{p3})_1$=36

Процедура проведения мониторинга выглядит следующим образом:

1. Определение размеров вводов, являющихся излучающими антеннами.
2. Расчет или экспериментальное определение резонансных частот излучающих антенн.
3. Определение величины информативных частотных полос этих антенн для первой резонансной частоты.
4. Расчет резонансных частот и величины информативных частотных полос для высших гармоник.
5. Определение габаритов приемной антенны.

В качестве приемника желательно использовать типовой промышленный приемник со встроенным АЦП и микропроцессором, дающим возможность обрабатывать энергетические спектры электромагнитных волн в необходимом частотном диапазоне.

Оценка состояния оборудования по коэффициенту интегральной мощности электромагнитных колебаний в заданной информативной полосе. Коэффициент интегральной мощности K_n среди квалификационных характеристик спектров является наиболее показательным и определяется для каждой n-ой информативной частотной полосы как отношение интегральной мощности обследуемого оборудования $P_{n\ обсл}$ к интегральной мощности эталонного $P_{n\ эт}$:

$$K_n = P_{n\ обсл} / P_{n\ эт},$$

где $P_n = \int_{f_{n.\min}}^{f_{n.\max}} S_n^2(f)df$ – интегральная мощность излучения оборудования в полосе частот $f_{n\ min} \le f_n \le f_{n\ max}$; $S_n(f)$ – плотность интегральной мощности излучения.

На рис.1 приведено изменение коэффициентов интегральной мощности в течение 6 месяцев. Из графика видно, что изменение коэффициента в пределах от 1,06 до 1,23, что характеризует стабильность работы оборудования. Эти данные подтверждаются результатами регламентных испытаний.

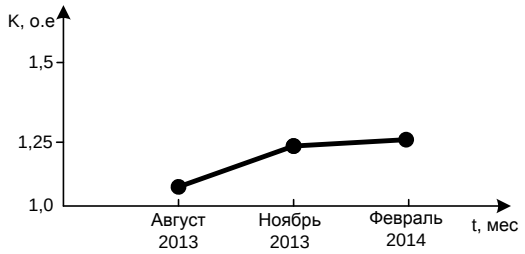


Рис.1 Изменение коэффициентов интегральной мощности

Вывод. Электромагнитное излучение может служить основой построения технической диагностики. В качестве критериев оценки состояния высоковольтного оборудования может выступать интегральная мощность излучения, коэффициент интегральной мощности.

Список литературы

1. Концепция диагностики электротехнического оборудования подстанций и линий электропередачи электрических сетей ОАО «ФСК ЕЭС». – М.:2004, 172 с.
2. Силин Н.В. Электромагнитный способ оценки технического состояния высоковольтного оборудования // Промышленная энергетика. 2006. № 1. С. 8-11.
3. Абрамов О.В., Кондратьев Г.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. – Дальнаука, 2005. – 190 с.
4. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. М.: Энергия, 1979. 220 с.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕЛЬНИЦЫ МШЦ5.5х6.5

Ганбат Энхбаяр, аспирант
Научный руководитель: Бат-Очир Эрдэнэцэцэг, к.т.н., профессор
Монгольский Государственный Университет Науки и Технологии,
61000, Монголия, г.Эрдэнэт, ул.Отгонбилэга
E-mail: e_epia@yahoo.com

На сегодняшний день энергосбережение и энергоэффективность входят в одно из актуальных стратегических направлений развития технологии в Монголо-Российской совместной горно-обогатительной КОО ”Предприятие Эрдэнэт”. На комбинате эксплуатируются тринадцать высоко мощных рудоразмольных мельниц МШЦ 5.5х6.5 (МШЦ 5.5х6.5 - мельница шаровая, центробежная, габариты барабанов: диаметр 5.5м, длина 6.5м) для измельчения руды. Тиристорные возбудители ЩТС-38 (щит тиристорный силовой) являются источниками системы возбуждения для синхронных двигателей (номинальная мощность двигателя 4МВт) данных мельниц. Целю данной работы является математическое моделирование полноуправляемого энергосберегающего возбудителя, который обеспечит управление током обмотки возбуждения и надёжность системы возбуждения синхронных двигателей мельниц.

На Рис 1. представлены функциональные схемы управления синхронного двигателя мельницы МШЦ5.5х6.5.

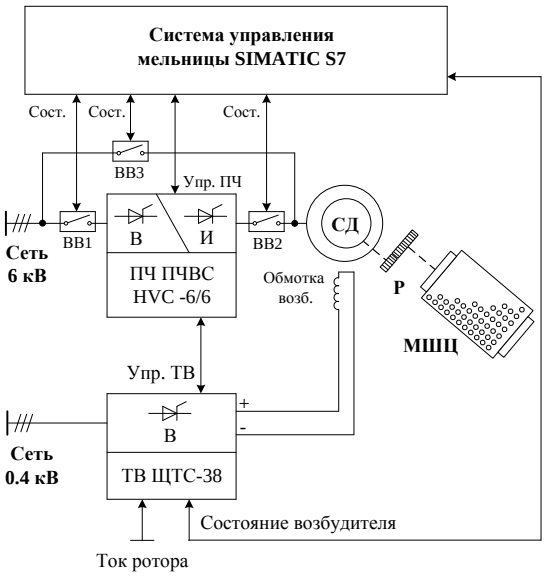


Рис 1. Функциональная схема управления синхронного двигателя мельницы

Запуск двигателя проводится через высоковольтный тиристорный преобразователь частоты ПЧВС HVC-6/6. Два вакуумных контактора (ВВ1, ВВ2) включаются на входе и выходе преобразователя частоты, а третий (ВВ3) является шунтирующим и включается после плавного пуска двигателя на питание от сети 6кВ.

На Рис 2. представлены функциональная и силовая схема тиристорного возбудителя ЩТС-38 в настоящее время.

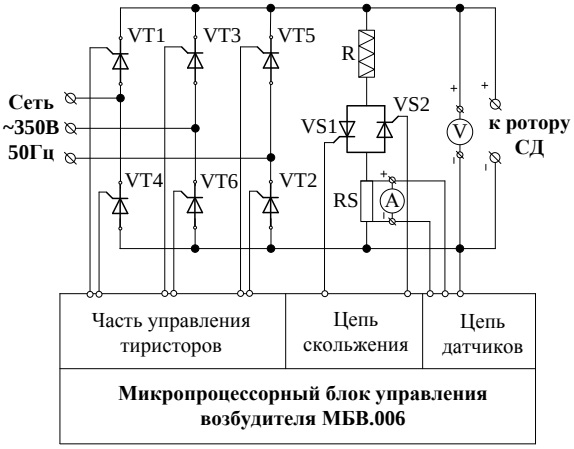


Рис 2. Функциональная и силовая схема тиристорного возбудителя

Тиристорный возбудитель, показанный на Рис 2. включает в себя трехфазный управляемый выпрямитель на силовых тиристорах VT1-VT6 и дополнительные разрядные ключи VS1, VS2 для сброса энергии обмотки возбуждения при включении синхронного двигателя и для защиты асинхронного хода.

На Рис 3. показана зависимость напряжения сети и выходного тока тиристорного возбудителя. Данные возбудители питаются от сети 400В, после сглаживающего трансформатора напряжение уменьшается на 350В и для получения номинального напряжения обмотки возбуждения двигателя строго поддерживается угол управления тиристоров на 120 градусов.

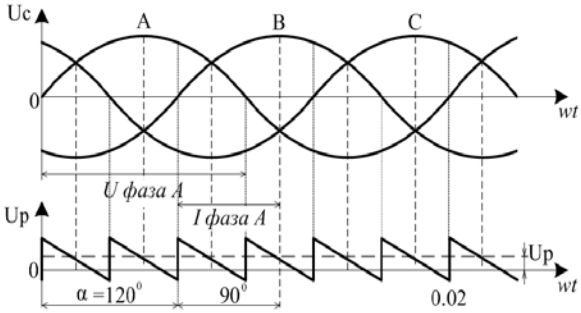


Рис 3. Диаграммы напряжения и тока фаза А возбудителя ЩТС-38

Из Рис 3. а видно, что в часте трёхфазного выпрямителя тиристорного возбудителя возникает сдвиг между входным напряжением и первой

гармоникой выходного первичного тока. Этот сдвиг определяется только углом управления и не зависит от индуктивности нагрузки. Следовательно, cosφ тиристорного возбудителя определяется глубиной регулирования. Уменьшение cosφ при регулировании напряжения является серьезным недостатком системы возбуждения синхронного двигателя мельницы.

Метод исследований электромагнитных процессов в предлагаемом возбудителе – это схемотехническое математическое моделирование в программе Matlab, выполненное с использованием симуляторных компонентов и Simulink моделей полупроводниковых вентилей. Модель полученная данным методом представлена на Рис 4б. А на Рис 4а. показана принципиальная схема полноуправляемого возбудителя. Основными особенностями возбудителя являются понижающий источник питания и трехфазный мостовой полупроводниковый коммутатор на тиристорах GTO, силовые ключи которого обладают односторонней проводимостью тока и полной управляемостью в проводящим направлении.

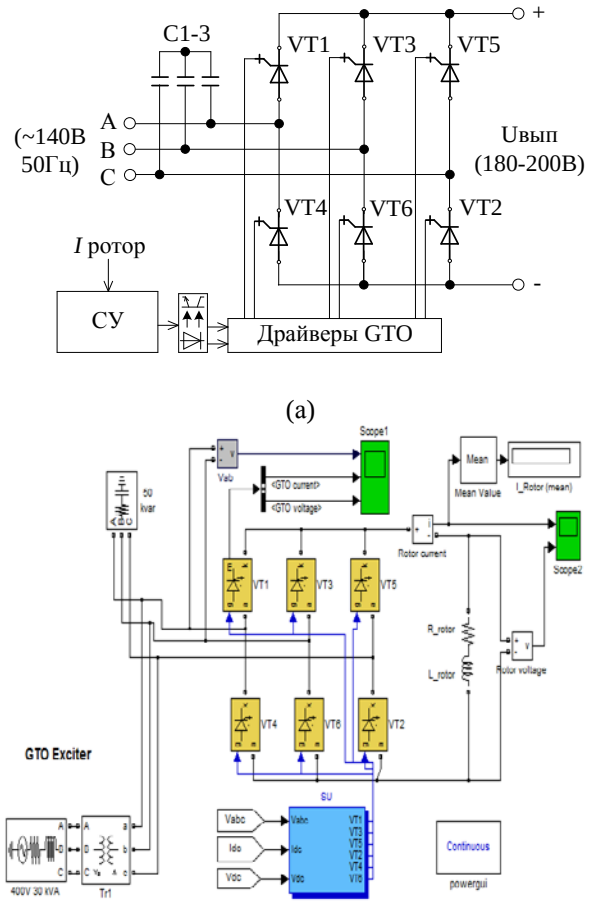


Рис 4. Принципиальная схема части активного выпрямителя полноуправляемого возбудителя (а) и математическое моделирование в среде Matlab/Simulink (б)

Ниже на Рис 5. представлены некоторые результаты, полученные по компъютерной модели полноуправляемого возбудителя с системой регулирования выходного тока, построенной на основе выше названных особенностей.

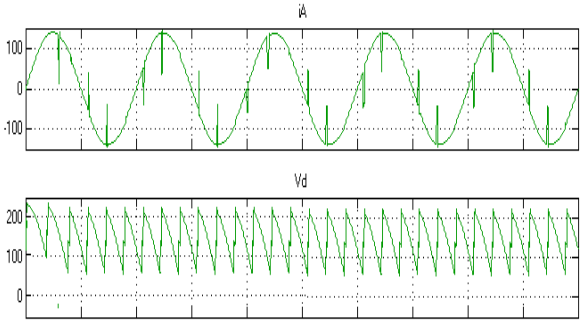


Рис 5. Характерные временные диаграммы модели полноуправляемого возбудителя

Применение математических моделей позволяет обоснованно подходить к построению энергосберегающих систем электропривода синхронного двигателя мельницы с включением активных выпрямителей в состав силовой схемы возбудителя. Полученная модель может быть использована как средство энергосбережения и управления электрическими режимами систем возбуждения синхронного двигателя мельницы с целью улучшения их показателей качества. Сумма полных мощностей тиристорных возбудителей всех мельниц МШЦ5.5х6.5 достигает до 1.3МВа на комбинате, из которых возможно компенсировать реактивную мощность 780кВар с помощью полноуправляемого возбудителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костелянец В.С. Режимы и надежность работы тиристорного возбудителя синхронной машины // Производственное издание / Ленинград., 1990. – С.53-62.
2. Руденко В.С. Преобразовательная техника // Научное издание / Синько В.И., Чиженко И.М. и др. –Киев., 1983. -С.98-101.
3. Ефимов А.А. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока // Научное издание / Шрейнер Р.Т. и др. – Новоуральск., 2001. –С.195-197.
4. Зиновьев Г.С. Силовая электроника // Учебное пособие / -М., 2012. –С.559-569.
5. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты // Научное издание / -Екатеринбург., 2000. –С.586-593.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Гинтинг Рутта[1], Иванов А.В.[2], Семенов С.М.[1]
Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
[1]Томский политехнический университет,634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]НИИ автоматики и электромеханики Томского университета систем управления и радиоэлектроники
E-mail: rutta_ginting@ymail.com

Светосигнальные устройства необходимы для установки на высотных сооружениях и предназначены для световой маркировки или светоограждения высотных и протяженных конструкций, которые могут ухудшить условия безопасности движущихся объектов (самолеты, вертолеты, дельтапланы и т.п.) ночью и в сумерках, а также днем в условиях плохой видимости. Использование светодиодных ламп в светильниках светового ограждения дает массу преимуществ по сравнению со стандартным использованием в заградительных огнях ламп накаливания. Светодиодные лампы могут работать как в режиме постоянного горения, так и в других режимах (импульсное и круговое зажигания). Эти светодиоды гарантируют малое потребление энергии и длительный срок службы (около 100тыс. часов), что сокращает затраты на эксплуатацию. Основные требования к источникам питания светодиодов - это высокие надежность и эффективность, коррекция коэффициента мощности и в некоторых случаях, гальваническая развязка.

С учетом особенностей осветительных сетей и нормативов по освещенности можно сформулировать следующие требования к источнику питания для сигнализации высотных сооружений : напряжение питания – от 185 до 245 В; выходная мощность – от 100 до 220 Вт; выходной ток – 0,35-5 А; выходное напряжение от 100 до 200 В; коэффициент пульсаций выходного напряжения – не более 2%; КПД – не менее 80%; коэффициент мощности – не менее 0,95; точность стабилизации тока – ±2%; рабочий диапазон температур от –55 ºС до +55 ºС [1].

В данной работе предлагаются результаты исследования двухключевого обратноходового преобразователя в качестве второй ступени источника питания светодиодов (рис.1).

В этой схеме для питания световых диодов применяется выпрямитель мостовой конструкции (VD1-VD4) с емкостным балластом С1, ограничивающим ток на выходе. Подобные источники питания обладают простотой и экономичностью, и при этом совершенно не подвержены КЗ, а их выходной ток ограничен сопротивлением конденсатора. Стабильность выходного напряжения поддерживается за счет конденсатора $C_ф$. В обычном обратноходовом преобразователе напряжение на ключе превышает напряжение питания $U_{вх}$, а в данном варианте, если напряжение на первичной обмотке Lp трансформатора Т1 становится больше, чем напряжение питания $U_{вх}$, диоды VD5 и VD6 открываются и отдают избыточную энергию обратно в первичный источник.

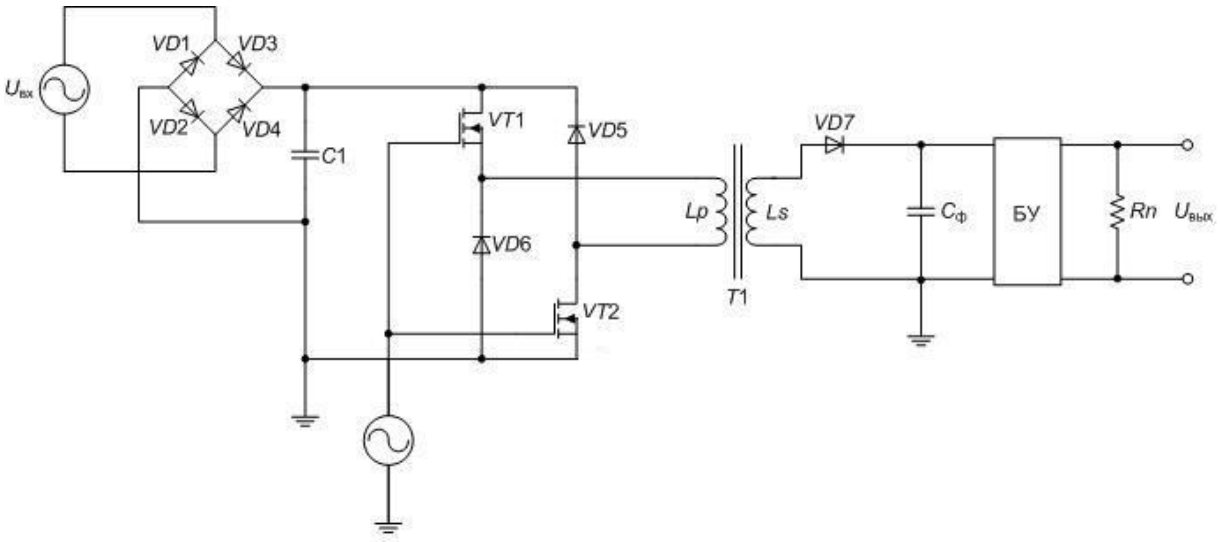


Рис.1. Схема двухключевого обратноходового преобразователя

Как видно из диаграммы токов и напряжений на рис.2, в период с 0-t_1 ключи VT1 и VT2 замкнуты и ток протекает через первичную обмотку Lp, диод VD7 в этот период закрыт. Затем в течение периода t_1-t_2 ключи VT1 и VT2 закрыты, диод VD7 включен и ток протекает через вторичную обмотку Ls. Трансформатор T1 накапливает энергию в течении промежутка 0-t_1 и отдает её в нагрузку течении периода t_1-t_2 [1].

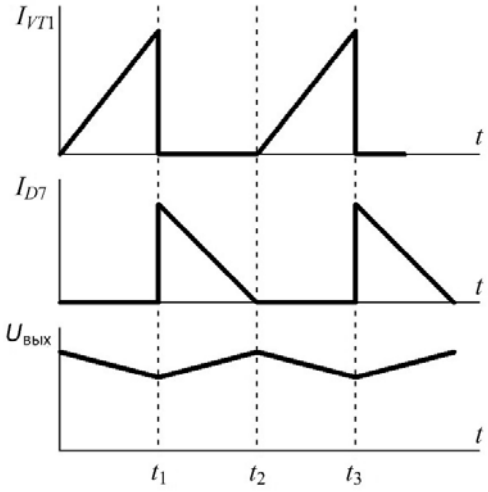


Рис.2. Диаграммы токов и напряжений двухключевого обратноходового преобразователя

Данная схема (рис.1.) имеет следующие преимущества:

- может применяться с комбинацией любого количества светодиодов, за счет изменения коэффициента трансформации;
- обеспечивает изоляцию и функционирует при большой разности входного и выходного напряжений;
- позволяет использовать ряд промышленно изготовляемых трансформаторов;
- напряжение на ключах не превышает напряжение питания;
- отсутствуют сквозные токи, как и в двухтактных преобразователях;
- простота системы управления;
- нет необходимости в демпфирующих цепях;
- отсутствие индуктивности в выходном фильтре по сравнению с прямым преобразователем;
- высокий показатель надежности.

В рассматриваемую схему (рис.1) также подключается блок управления (БУ). Структурная схема БУ показана на рис.3. БУ предназначен для автоматического управления работой светового оборудования. Он состоит из фотоэлектронного датчика, датчиков движения и контроля частоты вспышки.

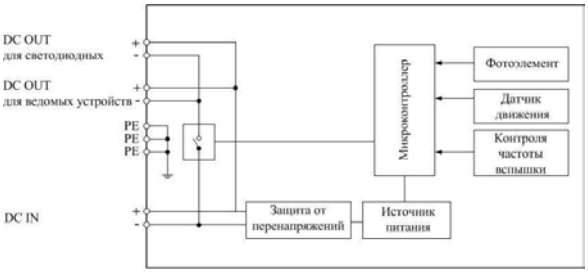


Рис.3. Структурная схема блока управления

БУ оснащен фотоэлектронным датчиком, который контролирует уровень естественного освещения, что позволяет в автоматическом режиме включать и выключать оборудование. Порог включения и выключения светового оборудования можно регулировать, изменяя уровень срабатывания фотоэлектронного датчика регулятором. Включение (выключение) светового оборудования, после срабатывания фотоэлектронного датчика, происходит с задержкой в минуту. Это сделано для того, чтобы исключить случайные факторы. Правый светодиод над регулятором показывает срабатывание датчика. Если датчик продолжает фиксировать наступление темноты в течение минуты, то подается питание на световое оборудование, т.е. светодиоды.

Фотоэлектронный датчик имеет следующие параметры: время задержки на включений - 60 с; время задержки на выключений - 200 с; чувствительность фотоэлемента - 200-800 люкс. Датчик контроля частоты вспышки применяются для экономии энергии и снижения эксплуатационных расходов. Он имеет следующие режимы работы: устойчивое свечение и промежуточное свечение от 20 до 40 вспышек/мин. При этом время продолжительности вспышки - 250 мс [2] .

Рассмотренная система может использоваться в качестве второй ступени в источнике питания для мощных светодиодов, обеспечивая при этом все заданные требования для высокоэффективной эксплуатации и находит применение для сигнализации высотных сооружений.

Список литературы

1. Ginting Rutta, Ivanov A.V., Semenov S.M. Research of two-switch flyback converter as a second stage of a LED driver // Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Октябрь 2013. – 145 с.

2. OBELUX LED Lighting. PS-48-05-PCFL Data Sheet. OBELUX LED Lighting, March 2012;2

ВСЕРЕЖИМНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ В ЦЕЛЯХ ИХ УТОЧНЕННОЙ НАСТРОЙКИ

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

В виду сложности и быстротечности протекающих в электроэнергетических системах (ЭЭС) процессов, надежность и эффективность функционирования ЭЭС, в значительной мере определяется правильностью работы средств релейной защиты и автоматики (РЗА). Согласно статистике причин аварийности ЭЭС существенная часть системных аварий происходит из-за несрабатывания или ложного срабатывания РЗА. Основной причиной неверных действий РЗА является их неправильная настройка, обусловленная двумя факторами: 1) недостаточно достоверное определение режимных величин; 2) обобщенный учет погрешностей, определяемых процессами в измерительных трансформаторах (ИТ) и РЗА, в различных режимах функционирования ЭЭС. Для минимизации перечисленных факторов, в связи с недопустимостью в большинстве случаев проведения натурных экспериментов в ЭЭС, актуально моделирование ЭЭС, в том числе РЗА, процессы в которых тесно взаимосвязаны, особенно в аварийных и послеаварийных режимах работы. Однако в результате анализа наиболее распространенных программ моделирования ЭЭС определено, что неизбежно применяются упрощения математических моделей электротехнического, энергетического оборудования и линий электропередач (ЛЭП), а РЗА, как правило, учитываются лишь алгоритмически. Причина такого подхода связана с возможностями методов численного интегрирования дифференциальных уравнений, ограничивающих жесткость и дифференциальный порядок совокупной модели ЭЭС, которые, даже без учета РЗА, оказываются весьма высокими.

С появлением средств моделирования ЭЭС, таких как ВМК РВ ЭЭС [1], позволяющих достоверно определять режимные величины, становится актуальной задача разработки математических моделей средств РЗА с учетом конкретных реализаций и ИТ в целях их уточненной настройки.

В рамках данной работы представлены результаты всережимного моделирования дистанционных защит (ДЗ), в частности распространенной ДЗ типа ШДЭ-2801. Актуальность моделирования ДЗ обусловлена широким применением дистанционного принципа при реализации РЗ ЛЭП, резервных защит генераторов и трансформаторов, устройств автоматического прекращения асинхронного хода, защит генераторов от потери синхронизма и др. Кроме того, ДЗ, в отличие от прочих защит, имеют достаточно сложные характеристики срабатывания (ХС), а применяемые методики расчета уставок ДЗ, не всегда обеспечивают правильность их выбора и настройки в сложных режимных условиях. Поэтому для адекватной настройки ДЗ нередко необходим дополнительный анализ их функционирования в конкретных режимах ЭЭС и соответствующая корректировка уставок.

Предлагаемый подход всережимного моделирования ДЗ с учетом конкретных реализаций и ИТ позволит существенно повысить полноту и достоверность их настройки.

Всережимная математическая модель ДЗ ШДЭ-2801 (далее – модель ДЗ) разработана в соответствии с приведенной в [2] методикой, включающей следующие этапы: формирование адекватных схем замещения моделируемых ИТ и функциональных элементов ДЗ для получения их передаточных функций (ПФ), конвертирование полученных ПФ в дифференциальные уравнения (ДУ), программная реализация синтезированных математических моделей.

Разработанная модель ДЗ представляет совокупность математических моделей измерительных трансформаторов тока (ИТТ), напряжения (ИТН), промежуточных трансформатора тока (ПТН) и напряжения (ПТН), схемы формирования сравниваемых величин (ФСВ), блока памяти (БП), формирователя импульсов несовпадения (ФИН), реагирующих органов первого и второго вида (РО1 и РО2), реле времени (РВ). Модель ДЗ описывается следующей системой уравнений:

$$-A_2 \cdot \frac{d^2 i_{вых}(t)}{dt} - B_2 \cdot \frac{di_{вых}(t)}{dt} + B_1 \cdot \frac{di_{вх}(t)}{dt} - C_2 \cdot i_{вых}(t) = 0,$$

$$L_{нам} = \mathrm{f}(i_{нам}),$$

$$A_2 = \mathrm{f}(k, L_1, L_2, L_{нам}), B_1 = \mathrm{f}(L_{нам}),$$

$$B_2 = \mathrm{f}(k, R_1, R_2, L_1, L_2, L_{нам}, Y_{нг}), C_2 = \mathrm{f}(k, R_1, R_2, Y_{нг}),$$

$$i_{нам}(\mathrm{t}) = i_{вх}(\mathrm{t}) \cdot \frac{1}{k} - i_{вых}(\mathrm{t}).$$

где $i_{вх}, i_{вых}, i_{нам}$ – первичный, вторичный и ток ветви намагничивания ИТТ;

R_1, R_2 – активные сопротивления первичной и вторичной обмотки ИТТ;

$L_1, L_2, L_{нам}$ – индуктивности первичной и вторичной обмотки, ветви намагничивания ИТТ;

$Y_{нг}$ – комплексная проводимость нагрузки;

k – коэффициент трансформации ИТТ;

A_2, B_1, B_2,C_2 и т.п. – величины, являющиеся функциями параметров схемы замещения, здесь и в других уравнениях введены для компактности их записи.

$$-A_2 \cdot \frac{d^2 u_{вых}(t)}{dt} + B_1 \cdot \frac{du_{вх}(t)}{dt} - B_2 \cdot \frac{du_{вых}(t)}{dt} - C_2 \cdot u_{вых}(t) = 0,$$

$$L_{нам} = f(i_{нам}),$$

$$i_{нам}(t) = u_{вх}(t) \cdot k \cdot Y_{W1} - u_{вых}(t) \cdot (Y_{W2} + Y_{нг}).$$

где $u_{вх}, u_{вых}$ – первичное и вторичное напряжение ИТН;

Y_{W1}, Y_{W2} – комплексные проводимости первичной и вторичной обмоток ИТН.

Модели ПТТ и ПТН реализованы аналогично моделям ИТТ и ИТН.

$$\left(A_2 + A_4\right) \cdot \frac{d^5 e_{П}(t)}{dt} + \left(B_2 + B_4\right) \cdot \frac{d^4 e_{П}(t)}{dt} - B_1 \cdot \frac{d^4 u_{вх2}(t)}{dt} -$$

$$-B_3 \cdot \frac{d^4 u_{вх1}(t)}{dt} + \left(C_2 + C_4\right) \cdot \frac{d^3 e_{П}(t)}{dt} - C_1 \cdot \frac{d^2 u_{вх2}(t)}{dt} -$$

$$-C_3 \cdot \frac{d^2 u_{вх1}(t)}{dt} + \left(D_2 + D_4\right) \cdot \frac{d^2 e_{П}(t)}{dt} - D_1 \cdot \frac{d^2 u_{вх2}(t)}{dt} -$$

$$-D_3 \cdot \frac{d^2 u_{вх1}(t)}{dt} + \left(E_2 + E_4\right) \cdot \frac{de_{П}(t)}{dt} + \left(F_2 + F_4\right) \cdot e_{П}(t) = 0.$$

где $u_{вх1}, u_{вх2}$ – напряжения на первом и втором входе БП;

$e_{П}$ – напряжение на выходе БП (напряжение «подпитки»).

$$A_2 \cdot \frac{de_1(t)}{dt} - A_1 \cdot \frac{du_i(t)}{dt} + B_2 \cdot e_1(t) - K_1 \cdot u_u(t) = 0,$$

$$A_4 \cdot \frac{de_2(t)}{dt} - A_3 \cdot \frac{du_i(t)}{dt} + B_4 \cdot e_2(t) - K_1 \cdot u_u(t) = 0,$$

$$e_3(t) - e_{П}(t) - K_1 \cdot u_u(t) = 0.$$

где e_1, e_2, e_3 – формируемые при помощи ФСВ сравниваемые величины;

u_i, u_u – входные напряжения ФСВ, пропорциональные измеряемой разности токов и разности напряжений соответственно.

Модели ФСВ второй и третьей ступеней ДЗ выполнены аналогичным образом, только в ФСВ второй ступени формируется не три, а четыре сравниваемые величины и не используется напряжение «подпитки». ФИН и РВ не оказывают значительного влияния на формирование погрешностей согласно [2], поэтому в модели ДЗ учитываются алгоритмически.

Модели РО1, РО2 описываются дифференциальными уравнениями, аналогичными вышеприведенным.

В среде MATLAB выполнена программная реализация модели ДЗ, предусматривающая возможность использования в качестве измеряемых первичных режимных величин массива мгновенных значений токов и напряжений, полученных при помощи регистраторов аварийных событий (РАС) в формате Comtrade.

В целях экспериментальной проверки, подтверждающей адекватность разработанной модели ДЗ, выполнено сравнение ее функционирования с функционированием реальной ДЗ ШДЭ-2801, зарегистрированного РАС при КЗ фаз В и С на ЛЭП 110 кВ.

Осциллограммы результатов моделирования первой ступени ДЗ ШДЭ-2801, а также фазных токов в ЛЭП, фазных напряжений ЛЭП в месте установки защиты и сигнал срабатывания первой ступени ДЗ ШДЭ-2801, записанные при помощи РАС, приведены на рисунке 1.

Рис.1. Осциллограммы результатов моделирования ДЗ и данные РАС

Список литературы

1. 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.

2. Боровиков Ю.С., Гордиенко И.С., Сулайманов А.О. Методика и средства адекватной настройки дистанционных защит. // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки, 2013. – № 2(38). – С. 145–151.

ГИБРИДНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ

Ивашова Е.В.
Научный руководитель Плотников И.А.., к.т.н., доцент.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7
E-mail: igorplt@tpu.ru

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование в энергетическом балансе регионов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одно из характерных преимуществ ВИЭ в том, что нет необходимости выбирать какой-то один вид источника, а можно производить электричество несколькими способами одновременно. Климатические и географические особенности децентрализованных зон России определяют практическую возможность использования из всех видов возобновляемых энергоресурсов преимущественно энергию ветра и энергию солнечного излучения.

Проблемой, сдерживающей внедрение установок ВИЭ в России, является отсутствие готовых стандартных технологических решений и проектов, которые бы позволили в кротчайшие сроки с минимумом выполнения строительных работ обеспечивать потребителя качественной электроэнергией с требуемой степенью надежности.

В данной работе рассматривается возможность построения ветро-фотоэлектрической установки комплектного типа – гибридного электроэнергетического модуля. Модуль должен представлять законченное технологическое (конструкторское) решение и должен обеспечивать потребителя электроэнергией в соответствии с принятыми стандартами. При создании энергетического модуля выдвигалось требование легкости транспортировки и монтажа. Предполагается перевозить модуль внутри стандартного транспортного грузового контейнера [1]. Разделив имеющийся контейнер пополам для удобного размещения в нем двух одинаковых модулей, были просчитаны возможные варианты компоновки силовых агрегатов, включая установки ВИЭ.

Основная доля вырабатываемой модулем электроэнергии приходится на несколько однотипных ветроэнергетических установок. При выборе конструкции ветротурбины рассматривались турбины горизонтально-осевого и вертикального типов. Ветротурбины с горизонтальной осью вращения обладают повышенным коэффициентом использования энергии ветрового потока, но их существенным недостатком является довольно высокая минимальная скорость ветра (как правило, более 3м/с), при которой установка начинает вырабатывать электроэнергию. По сравнению с горизонтальными турбинами вертикальные ветроэнергетические установки стоят дешевле, что достигается за счет более простой конструкции турбины. Вертикально-осевые турбины имеют низкую стартовую скорость (0,5 м/с) и независимы от направления ветра. Учитывая, что большинство зон децентрализованного электроснабжения в России имеют относительно небольшой ветровой потенциал (3 – 5 м/с), этот фактор являлся определяющим при выборе конструкции ветротурбин для энергетического модуля.

Чтобы окончательно отдать свое предпочтение вертикально-осевому или горизонтально-осевому типу турбин был произведен расчет вырабатываемой ветроэнергетической установкой электрической энергии в течении суток, при одинаковом для всех ветровом тренде.

Генерируемая мощность и энергия ветроэнергетической установки определяется из выражений [2]

$$P_{WT} = C_P \frac{\rho A}{2} V_w^3 \eta_{sg} \eta_e; \;\; W_{WT} = P_{WT} T,$$

где: C_P – коэффициент использования энергии ветра, определяется из аэродинамических характеристик ветротурбины; ρ – плотность воздуха; A – площадь, обметаемая колесом турбины; V_w – продольная составляющая скорости ветра, набегающего на ветротурбину (расчет производился для двух значений средней скорости ветра 5м/с и 10м/с на суточном интервале); η_{sg}, η_e – КПД синхронного генератора и силового электронного преобразователя, соответственно; T – интервал времени работы.

Были просчитаны следующие возможные варианты компоновки модуля:

- расположение трех горизонтально-осевых ветроэнергетических установок в один ряд;
- расположение трех горизонтально-осевых ветроэнергетических установок в два ряда;
- расположение трех ветроэнергетических установок роторного типа с направляющим аппаратом в один ряд;
- расположение трех ветроэнергетических установок роторного типа с направляющим аппаратом в два ряда.

При расчетах для определения коэффициента C_P использовались аэродинамические характеристики соответствующих реальных ветротурбин, близких по конструктивным признакам к рассматриваемым турбинам.

После проведённых расчетов преимущество к использованию было отдано многолопастной ветротурбине вертикально-осевого типа с направляющим аппаратом, поскольку при малых скоростях ветра данная турбина будет продолжать вырабатывать электроэнергию. В качестве преобразова-

телей механической энергии вращения ветротурбины использовались синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов.

В состав разрабатываемого электроэнергетического модуля было принято решение включить фотоэлектрическую установку. Вырабатываемая ей электрическая мощность определяется соотношением

$$P_C = (W_S / T)\eta_{sp}\eta_e,$$

где W_S – энергия потока излучения, падающего на площадку заданной площади за интервал времени T; η_{sp}, η_e – КПД солнечной батареи и силового электронного преобразователя, соответственно. При проведении расчетов, предполагалось, что силовой преобразователь наделен функцией максимума отбора мощности от батареи.

Разработанная конструкция гибридного электроэнергетического модуля представлена на рис.1.

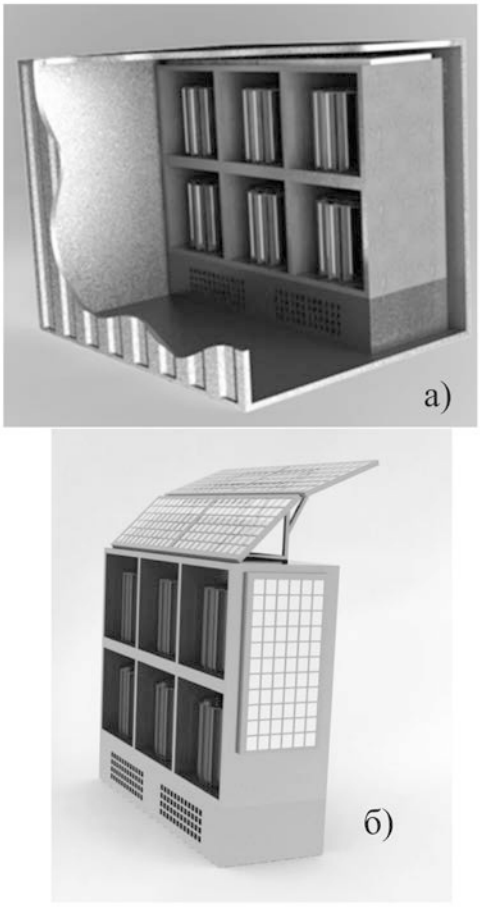


Рис. 1 – Трехмерная модель гибридного электроэнергетического модуля: а – в контейнере для транспортировки; б – в рабочем положении

Конструкция представляет собой модуль с расположением шести ветроэнергетических установок одинакового типа в два ряда. Снизу располагается короб, с установленными свинцово-кислотными аккумуляторными батареями и силовыми электронными преобразователями. На крыше и торцевых поверхностях модуля установлены кремниевые солнечные батареи. Они установлены на шарнирах для удобства подготовки модуля на месте эксплуатации.

Была разработана структурная схема электроэнергетического модуля, показанная на рис.2.

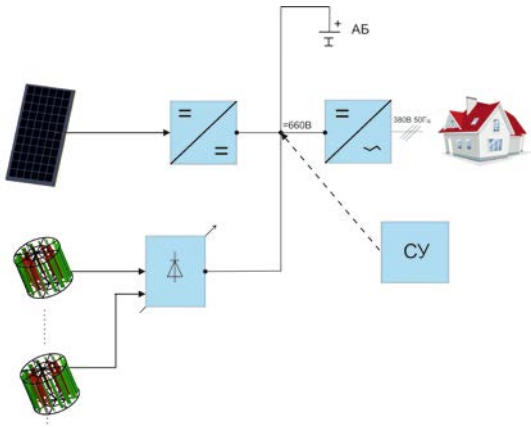


Рис.2 – Структурная схема гибридного электроэнергетического модуля

Модуль состоит из солнечных батарей, энергия с которых поступает через преобразователь постоянного напряжения на шину постоянного тока. Этот преобразователь обеспечивает повышение уровня выходного напряжения и функцию максимума отбора мощности от генерирующего источника. Выходы синхронных генераторов ветроэнергетических установок соединены последовательно и работают на общий управляемый выпрямитель, подключенный также к шине постоянного тока. Для согласования графиков выработки и потребления электроэнергии в состав модуля введен накопитель энергии на основе аккумуляторных батарей. Электроэнергией потребителя обеспечивает инвертор напряжения, который может работать как в автономном режиме, так и в режиме параллельно с сетью.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность предлагаемого подхода по созданию генерирующих источников с установками возобновляемой энергетики для децентрализованных систем электроснабжения малых объектов. В настоящее время разрабатывается компьютерная имитационная модель данного гибридного электроэнергетического модуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морское Агентство «Universal» – URL: http://www.ship.ru/konteyners/20_stand.php.

2. Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. -704 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ ЗАМЫКАНИЯ ПРОВОДНИКОВ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

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

Модель динамической точки короткого замыкания проводников многовитковых концентрических структур (типа катушек индуктивности) может быть рассмотрена на примере соленоида. Для его исследования был проведён ряд опытов, один из которых заключался в исследовании соленоида состоящего из четырех идентичных индуктивностей, каждая из которых равна 10 мГн. Схема приведена на рисунке 1.

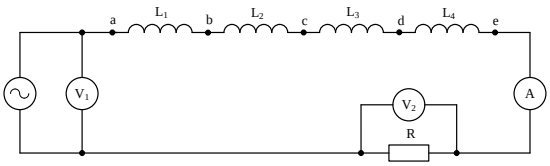


Рис.1. Схема опыта №1

В ходе работы искусственно проводилось поэлементно групповое короткое замыкание индуктивностей в различных комбинациях, вплоть до полного замыкания самого соленоида. К соленоиду прикладывалось инструментально контролируемое переменное (синусоидальной формы) напряжение по величине равное 5 В частотой 1 кГц. В ходе работы в цепь к индуктивностям устанавливали поочередно три различные по величине активные нагрузки (R_1 = 47 Ом, R_2 = 100 Ом, R_3 = 150 Ом).

На основе сравнения полученных результатов проведённого эксперимента были сделать следующие выводы:

1. Амплитуда напряжения в пространственной не нарушенной многовитковой структуре однородного соленоида распределяется по ниспадающей в первом приближении прямолинейной зависимости. Спад зависимости снижения амплитуды напряжения практически равномерен (соответствует выполнению закона Ома), что видно из графика на рисунке 2.

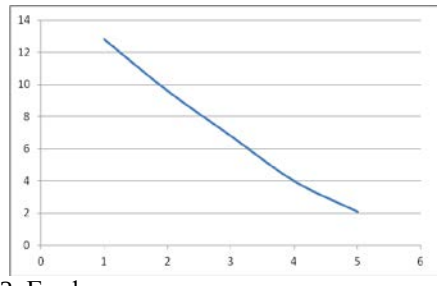


Рис. 2. График распределения амплитуды напряжения при нормальном режиме

2. Выходные параметры однородной топологии структуры многоэлементного соленоида при коротком замыкании элемента не зависят от места короткого замыкания (к.з.), а только от величины короткозамкнутых витков. Чем больше к.з. витков, тем выше ток и напряжение на выходе, которые возрастают по экспоненте (рисунки 3, 4 и 5).

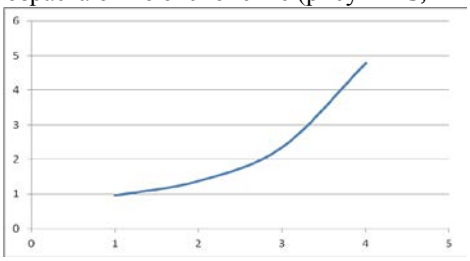


Рис.3. График зависимости напряжения на нагрузке от числа к.з. витков

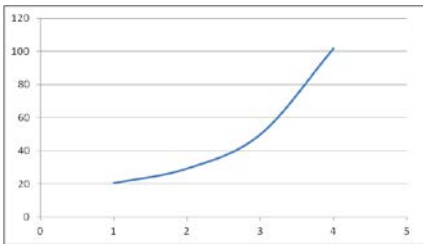


Рис. 4. График зависимости силы тока от числа к.з. витков

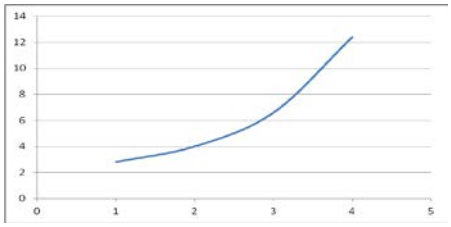


Рис. 5. График зависимости амплитуды напряжения от величины к.з. витков

3. С увеличением нагрузки при коротком замыкании одной из индуктивностей величина тока убывает, а напряжение возрастает, как показано на рисунках 6 и 7 соответственно.

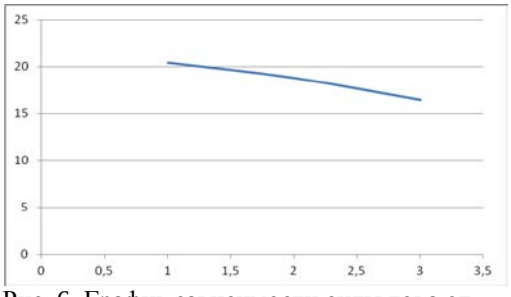


Рис. 6. График зависимости силы тока от нагрузки при к. з. одной из индуктивностей

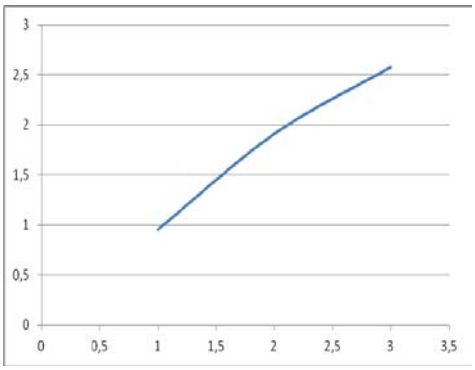


Рис. 7. График зависимости напряжения от нагрузки при к. з. одной из индуктивностей

Так же был проведен эксперимент с индуктивно связанными катушками (по 900 витков каждая обмотка), подключенных согласованно, схема которой изображена на рисунке 8. На соленоид подавалось сначала переменное синусоидальное напряжение равное 5 В при частоте 1 кГц, а затем импульсы прямоугольной формы той же частоты и амплитуды. В ходе работы закорачивали сначала одну обмотку W_2, а затем вторую.

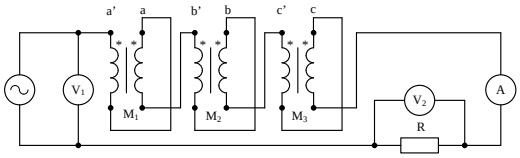


Рис. 8. Схема исследования индуктивно связанных катушек

Сравнение полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

Амплитуда синусоидального напряжения по катушкам распределяется по убывающей прямой, и почти равномерно, что видно из графика на рисунках 9. А амплитуда прямоугольного импульса в точке b имеет максимальное значение, и далее убывает, как показано на рисунке 10.

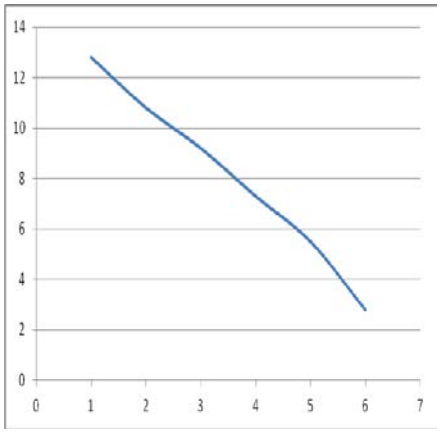


Рис. 9. График распределения амплитуды синусоидального напряжения при нормальном режиме

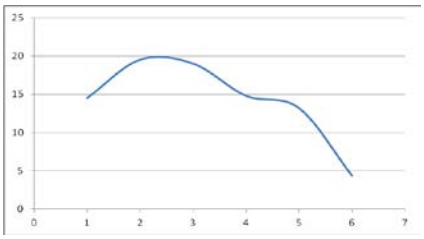


Рис. 10. График распределения амплитуды прямоугольных импульсов при нормальном режиме

Анализ полученных данных эксперимента приводит к следующим выводам:

1. Амплитуды напряжений соленоида и взаимосвязанных катушек практически одинаковы, а величина тока и напряжения при воздействии на них синусоидального напряжения больше.

2. С увеличением индуктивности области короткого замыкания витков катушек ток и напряжение на выходе контролируемой цепи растут.

3. Сравнив выходные значения тока и напряжения, полученных при синусоидальном напряжении, со значениями, полученными при прямоугольных импульсах, видно, что в последнем случае величины тока и напряжения гораздо большие, чем в первом. Это объясняется величиной индуктивности (в опыте №1 она была меньше). Соответственно с увеличением индуктивности величины тока и напряжения уменьшаются.

Рис. 11. Осциллограмма, полученная на выходе источника прямоугольных импульсах

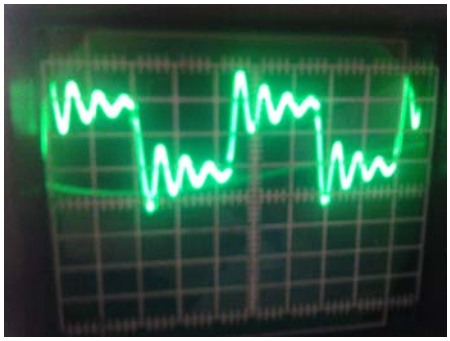


Рис. 12. Осциллограмма в точке внутри взаимосвязанных катушек при наличии в их структуре области к.з. при воздействии прямоугольных импульсов

ПОСТРОЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Корнев В.А.
Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kornev_vasja@mail.ru; Shm_av@rambler.ru

Релейная защита (РЗ), применяемая в системах электроснабжения обеспечивает обнаружение коротких замыканий (КЗ) в оборудовании и электрических сетях и подавление данных повреждений посредством отключения места КЗ с помощью силовых высоковольтных коммутаторов (выключателей), секционирующих сеть. Другими словами, РЗ – это объединение, с одной стороны, средств контроля параметров реагирования, как правило, электрических токов или сопротивлений элементов и участков сети, а с другой стороны, коммутационных аппаратов, обеспечивающих ликвидацию КЗ путем подавления тока короткозамкнутых электрических цепей. Обнаружение КЗ в сети осуществляется через чрезмерные возрастания токов в силовых цепях (оборудование, участки, линии сети), снижения измеряемых сопротивлений участков от места размещения измерительных приборов до места КЗ. Фиксация токов и сопротивлений осуществляется приборами-реле, подключенными к силовым цепям через трансформаторы тока и напряжения на концах участков, линий сети, выводах оборудования.

Параметры реагирования ток и сопротивление с точки зрения обнаружительных свойств принципиально разные. Первый из них фиксирует ток в интересующей цепи сети, безразлично какими причинами он вызван и в каком месте он возник. Место КЗ по току можно определять по его величине, привязанной к топологии сети, ее коммутациям и режимам. Сопротивление является конструкторским параметром, формируется через отношение остаточного напряжения к току, поэтому фиксирует жестко сопротивление независимо от коммутаций и режимов от места установки измерительного органа сопротивления до места КЗ.

Однако данное преимущество сопротивления как параметра реагирования сохраняется только до первого разветвления контролируемой цепи. При КЗ за пределами неразветвленной части защищаемого участка фиксация величин каждого параметра реагирования все в большой степени начинает определяться токами от посторонних источников, подпитывающих место КЗ. Поэтому с точки зрения обнаружительных свойств, анализа расчетов уставок и чувствительности, в целом построения токовых и дистанционных (параметр реагирования – сопротивление) РЗ возникает стереотип ступенчатых защит. Ступенчатые защиты характеризуются уставками (порогами действия) как по параметру реагировании, так и по времени. Последовательность отработки уставок по времени совместно с уставками по параметру реагирования каналов защит защищаемого и внешних участков позволяют имитировать блокирование ступенчатых защит при внешних КЗ.

Важно отметить, что как система контроля, так и в целом РЗ получает свое замечательное свойство селективности благодаря сетевой структуре систем электроснабжения, секционированию этой структуры коммутационными аппаратами, размещенными в распределительных устройствах электростанций и подстанций. способными ликвидировать КЗ, и канала, блокирующего действие РЗ при внешнем КЗ. Дополнительное секционирование фидеров относительно точек электропотребления на упрощенных подстанциях в системах электроснабжения [1] при наличии двух других названных признаков селективности существенно развивает свойство селективности. Применение для секционирования современных вакуумных выключателей или реклоузеров в сетях электроснабжения позволяет улучшить также и другие базовые свойства РЗ: высокую надежность, быстродействие, чувствительность, которые достигнуты благодаря особенностям конструкции, кинематике, миниатюризации реклоузеров, внедрению новых метрологических и автоматизирующих технологий в их построении.

В [1] представлены возможности реклоузеров в различных применяемых вариантах построения систем электроснабжения. Анализ показывает, что улучшение свойств РЗ участков и линий сети, оборудованной реклоузерами возрастает практически за счет быстродействия и точности отработки операций последних. По условиям электрической прочности и гашения дуги расхождение силовых контактов реклоузера при разрыве отключаемой цепи в вакуумной камере требуется незначительное. Поэтому время отключения и включения реклоузера существенно сокращается. Этому способствует также предусмотренный в схеме реклоузера более точный датчик измерения тока, в котором устранена неизбежная при использовании обычных выключателей погрешность трансформаторов тока. Благодаря этому запасы при отстройке, согласовании и проверке чувствительности по параметру реагирования ступенчатых РЗ могут быть снижены на 20 – 25 %. Повышение точности измерения параметра реагирования РЗ позволяет снизить ступень

селективности по времени до 0,1 – 0,2 с. вместо обычных 0,4 – 0,7 с, что также увеличивает быстродействие РЗ сети, оборудованной реклоузерами.

Несмотря на ряд обсуждаемых технических преимуществ систем электроснабжения с реклоузерами стоимость последних заметно ниже варианта с выключателями. Причем данное соотношение по стоимости в абсолютном выражении сохраняется и при достаточно большом количестве реклоузеров, используемых для продольного секционирования фидеров, по сравнению с выполнением электроснабжения для сети с применением выключателей и разъединителей.

Таким образом, технические преимущества, небольшая стоимость, наличие автономного блока питания в составе каждого реклоузера позволяют в системах электроснабжения с данными коммутационно-защитными аппаратами осуществлять построение ступенчатых РЗ с улучшенными свойствами. Однако остаются недостатки ступенчатых релейных защит, обусловленные метрологической их основой., которая требует количественных расчетов уставок и чувствительности, а, следовательно, достаточно точного знания схемно-конструкторских и режимных параметров электрических схем систем электроснабжения. Но если режимный параметр (сверхпереходные ЭДС), необходимый для расчетов токов КЗ, уставок и чувствительности РЗ, имеет небольшой случайный разброс, то случайное рассеяние сопротивлений схем электрических соединений сетей электроснабжения по разным причинам может оказаться существенным в связи с динамичной реконфигурацией данных сетей по условиям эксплуатации и развития отрасли. Особенно это относится к системам электроснабжения энергоресурсов и в первую очередь нефте и газодобычи. Поэтому система электроснабжения, построенная на реклоузерах, может дать практический эффект, если имеет место точное знание схемных и режимных параметров систем электроснабжения, что нереально. Решить же этот вопрос принципиально возможно, например, либо путем проведения мониторинга токов через защиты участков сети при КЗ в требуемых точках сети по условиям выбора уставок и проверки чувствительности РЗ, что тоже является маловероятным..Действительно, невозможно представить построенную реальную систему электроснабжения. ожидающую мониторинга токов КЗ для настройки РЗ.

Можно также предложить решение либо посредством применения на каждом участке сети защиты с жестким выделением области действия (дифференциальная защита, защита с каналом обмена информацией между комплектами на концах защищаемого участка), для функционирования и настройки которых практически никаких расчетов не требуется.

Однако данные защиты являются весьма дорогостоящими по разным причинам. Так, дифференциальные защиты из-за канала взаимообмена, который вследствие большой протяженности сетевых участков имеет большую длину и поэтому требует обеспечить контроль исправности этого канала. То есть, с одной стороны, стоимость затрат на этот канал может быть немалой, а с другой стороны требуется защита данного канала от повреждений, что. является нелогичным и даже абсурдным решением. Защиты с высокочастотным каналом обмена информацией между комплектами по проводам сети требуют для построения защиты высоковольтного оборудования конденсаторов связи, трансформаторов тока, фильтров присоединения, заградителей высокой частоты на концах каждого участка. В данных вариантах затраты на построение канала обмена определяются в основном стоимостью названного оборудования. Но опыт эксплуатации высокочастотных защит показывает достаточно высокую эффективность их применения. Поэтому отрасль внедряет эти защиты.

Однако в [2] предложен способ построения высокочастотных РЗ, в котором высоковольтное оборудование исключено, что достигнуто за счет выполнения защиты на высоковольтном потенциале проводов линии. Канал обмена информацией между электронными комплектами осуществлен по проводам. Недостатком данного предложения для сетей электроснабжения является применение дифференциального принципа выявления КЗ на участках, что требует наличия обязательного физического канала для циркуляции сигналов о токах на концах каждого участка. Реализация наиболее полноценного высокочастотного дифференциально-фазного принципа защиты сетевых участков не требует физического канала для взаимодействия между комплектами аппаратуры на высоковольтных проводах. Этот вариант быстродействующих защит участков сетей электроснабжения предлагается вместо ступенчатых защит.

Литература:

1. Воротницкий В.В., Бузин С.А. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6 (10) кВ // Новости электротехники. – 2005. – №3 (33).

2. Пат №2393606 РФ, МПК H02H 3/02, H02H 3/38. Способ построения и настройки релейной защиты линий с жестким указанием места повреждения // А.В.Шмойлов, С.А. Овчинников; заявитель и патентнообладатель Томский политехнический университет; опубл.27.06.2010, бюлл №18.

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Кравченко Е.В.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: kevatp@tpu.ru

Мировым трендом в области электроэнергетики развитых стран является использование силовых полупроводниковых приборов (СПП) в различных областях применения (рис.1). Около 70% всей вырабатываемой электроэнергии преобразуется с применением полупроводниковых устройств [1]. Для России доля, приходящаяся на полупроводниковые преобразователи, составляет примерно 30% вырабатываемой электроэнергии. Увеличение количества силовых полупроводниковых устройств в различных сферах жизнедеятельности, безусловно, увеличит энергоэффективность, а вместе с тем, при достижении мирового показателя, позволит сэкономить 12-15% всей вырабатываемой в России электроэнергии.

Рис.1 Сфера применения СПП.

Современные СПП формально можно разделить на две группы в зависимости от мощности. К первой группе устройств, применяемых преимущественно для преобразования очень больших мощностей, относят диоды и тиристоры. Вторую группу приборов, использующихся в диапазоне средних и малых мощностей, представляют полевые (MOSFET – metal-oxide-semiconductor field effect transistor) и биполярно-полевые транзисторы (IGBT – Insulated-gate bipolar transistor).

Разработка силовых полупроводниковых изделий сопряжена со значительными временными и ресурсными затратами, с одной стороны. С другой стороны, такие приборы эксплуатируются в достаточно узком диапазоне внешних рабочих температур, например, силовые тиристоры от 0^0 до $+40^0$C и с жесткими требованиями в плане надежности. Также, учитывая большой срок окупаемости энергетических объектов, существует потребность прогнозирования надежности СПП за пределами срока службы изделий [2]. Поэтому возникает необходимость оценки надежности полупроводниковых устройств силовой электротехники, как на стадии разработки изделий, так и в течение всего срока эксплуатации и за его пределами.

Методы прогнозирования. Стандарт [3] определяет три класса методов прогнозирования надежности объектов:

- методы эвристического прогнозирования (экспертной оценки);
- методы прогнозирования по статистическим моделям;
- комбинированные методы.

Объединяющей основой перечисленных методов оценки показателей надежности является статистика. Для метода эвристического прогнозирования это статистическая обработка независимых оценок (индивидуальных прогнозов) показателей надежности. Комбинированный метод включает в себя методы эвристического прогнозирования и прогнозирования по статистическим моделям. В последнем методе, модели для прогнозирования строят по данным о показателях надежности и параметрах объектов-аналогов с использованием известных статистических методов (многофакторного регрессионного или факторного анализа, методов статистической классификации и распознавания образов).

Методы прогнозирования надежности, основанные на статистическом анализе, имеют ряд существенных недостатков. К таким ограничениям относят нормы и условия выборки приборов, отправляемые на испытания. Вероятное отсутствие объектов-аналогов при разработке, например, новых СПП для определенной отрасли применения. Допущение о стационарности режимов работы самих устройств и условий эксплуатации, например, градиенты температур внутри электрорадиоизделий (ЭРИ) могут достигать 30^0 и более градусов даже для относительно мало мощных устройств (единицы Ватт) [4]. Поэтому, методы математического моделирования, основанные на физике отказов (PoF – physics of failure), учитывающие такие важные факторы как, например, внутреннюю неоднородность тепловых полей, нестационарность условий эксплуатации СПП и

режимов работы самих приборов, а также деградационные изменения структуры материалов под действием совокупного влияния внешних и внутренних факторов, имеют под собой серьезное основание.

Прогнозирование показателей надежности, а именно интенсивностей отказов, серийно выпускаемых и новых электронных и электротехнических элементов, к которым относятся и силовые полупроводниковые изделия, согласно [3], может проводиться при помощи соответствующих методик, содержащихся в американском военном справочнике MIL-HDBK-217 и отечественном справочнике по надежности электрорадиоизделий. Однако, в рекомендуемых стандартом методиках – математических моделях прогнозирования показателей надежности, существуют отличия, как в количестве коэффициентов модели и базовых интенсивностях отказов отдельных типов СПП, так и в значениях коэффициентов, а также подходах и характеристиках самих коэффициентов. Поэтому, представляется интерес оценки соответствия двух методик с целью определения возможности использования их в качестве составляющей концепции PDfR (PDfR – probabilistic design for reliability) [5]. Смысл которой заключается в эффективном управлении затратами на разработку устройств электронной техники и сроком выхода на рынок того или иного изделия.

Постановка задачи. В качестве базового элемента при прогнозировании показателя надежности, как класс устройств, был выбран силовой низкочастотный диод с температурой перехода $T_{пер}$=140 ^{0}C.

Математическая модель оценки надежности по отечественному справочнику «Надежность ЭРИ»:

$$\lambda_э = \lambda_б \cdot К_р \cdot К_ф \cdot К_к \cdot К_э, \quad (1)$$

где: $\lambda_б$ –базовая интенсивность отказов соответствующих типов силовых приборов;

$К_р$–коэффициент режима, зависит от электрической нагрузки и температуры;

$К_ф$–коэффициент функциональной специфики режима работы прибора;

$К_к$–коэффициент уровня качества прибора;

$К_э$–коэффициент жесткости условий эксплуатации.

Математическая модель оценки надежности по военному справочнику MIL-HDBK-217:

$$\lambda_э = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E, \quad (2)$$

где: λ_b–базовая интенсивность отказов соответствующих типов силовых приборов;

π_T–коэффициент режима, зависит от температуры;

π_S–коэффициент режима, зависит от электрической нагрузки;

π_C–коэффициент, зависит от конструкции контакта;

π_Q–коэффициент уровня качества прибора;

π_E–коэффициент условий эксплуатации.

Необходимо отметить, что оценка надежности СПП по моделям (1) и (2) проводилась для типичного режима работы прибора и условий эксплуатации (окружающая температура T=25–60^{0}C). На рис. 2 представлены результаты численного моделирования показателя надежности (интенсивности отказов) по двум методикам.

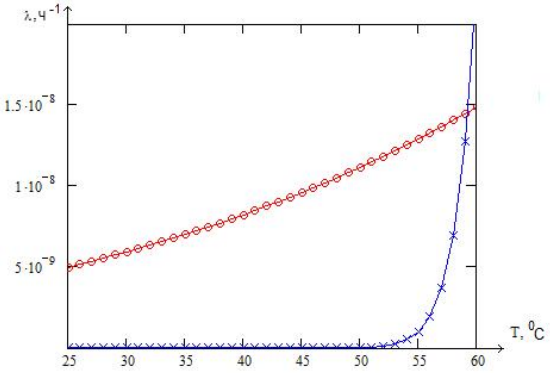


Рис. 2. Интенсивности отказов мощных полупроводниковых диодов при различных температурах окружающей среды. (ooo -модель (2) по MIL-HDBK-217 ; xxx - модель (1) по справочнику «Надежность ЭРИ»)

Заключение. Использование методов POF при прогнозировании надежности СПП создает предпосылки для минимизации количества приемо-сдаточных испытаний, а в последующем, методы, основанные на физике отказов, могут стать важной составляющей концепции PDfR..

Однако, важно отметить, что базовые интенсивности отказов СПП приведены для температуры +25^{0}C и не учитывают пространственную неоднородность тепловых полей, как внутри приборов так и за его пределами.

Список литературы

1. И.В. Грехов. Силовая полупроводниковая электроника и импульсная техника. // Вестник российской академии наук, 2008, том 78, № 2, с. 106-131.
2. Семёнов Г.М., Сухов А.В. О надёжности эксплуатации силовых полупроводниковых приборов за пределами срока службы в преобразовательных агрегатах // Электротехника. 2006. № 10. С. 9-13.
3. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
4. Кузнецов Г.В., Белозерцев А.В. Численное моделирование пространственного поля температур в силовом транзисторе // Радиотехника. 2006. № 3. С. 62-66.
5. E. Suhir When adequate and predictable reliability is imperative // Microelectronics Reliability. 2012. № 52. P. 2342-2346.

ПРОГРАММА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСЦИЛЛОГРАММ

Лавринович А.В., Эрфорт А.А.
Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
E-mail:lavrinovich86@yandex.ru
Научный руководитель, д.ф.-м.н. Ю.Н. Исаев

В настоящее время при получении экспериментальных данных широко используются цифровые осциллографы. Полученные результаты можно сохранять в цифровом виде, записав их через USB-порт на цифровом носителе типа USB Flash Device. Дальнейшая визуализация данных и/или их обработка требует специальных программ. Существуют специализированные программы для визуализации осциллограмм, например, программа фирмы OriginLab Corporation [1], Agilent [2], PowerGraph [3], которые предназначены для численного анализа данных и научной графики, работающие на компьютере под управлением операционной системы Microsoft Windows. Однако эти программы и другие не адаптированы под конкретные цифровые осциллографы. Например, осциллограммы полученные с осциллографа типа Tektronix имеют расширение в виде *.csv и без дополнительной обработки массива данных программой фирмы OriginLab Corporation не воспринимаются. Это создает трудности при обработке значительного количества экспериментальных результатов и требует затрат значительного времени на подготовку осциллограмм перед воспроизведением их в программе фирмы OriginLab Corporation.

Для решения данной проблемы нами предпринята попытка разработки специальной "Программы цифровой обработки данных" PDDP (Program of digital data processing – PDDP) в среде Lab View. Разработанная программа позволяет после загрузки файла в эту программу визуализировать его и производить над ним различные процедуры: смещение по оси X, умножение значений на любой коэффициент по оси X, Y, вычитание двух любых осциллограмм независимо от шага дескритизации исходных данных, определение параметров сигналов с помощью скользящих маркеров, масштабирование нужной области осциллограммы для просмотра интересующего события. Представление осциллограмм до и после их обработки в виде графиков с возможностью нанесения наименования измеряемых величин по осям, размерности, цвета и толщины линий кривых позволяет эффективно и просто использовать полученные данные в отчетах.

Внешний вид интерфейса разработанной программы PDDP приведен на рис. 1.

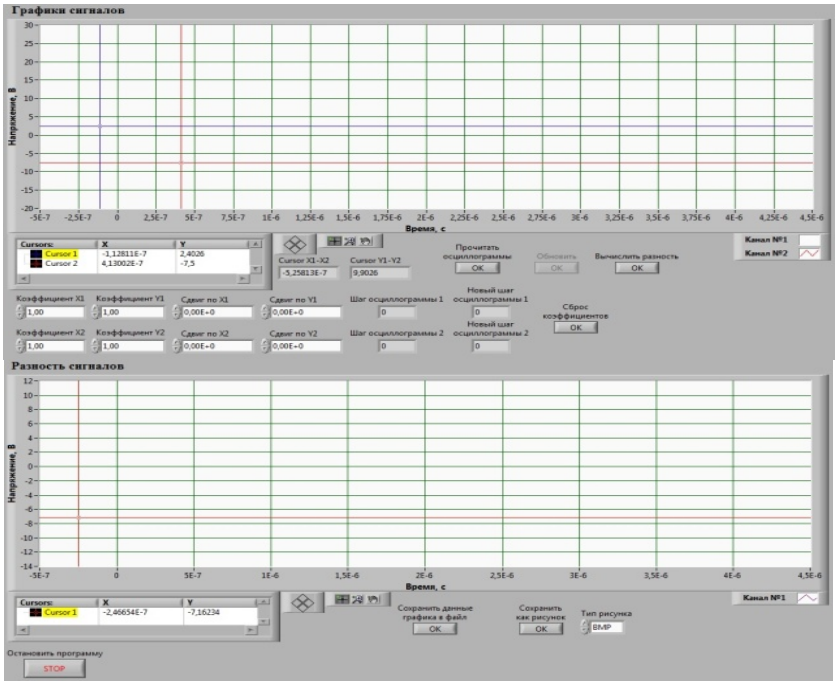


Рис. 1 Внешний вид интерфейса программы

Обработка осциллограмм в данной программе начинается с кнопки «Прочитать осциллограммы». В появившемся окне выбираются файлы с расширением *.csv для последующей обработки. В окне «Графики сигналов» появляются выбранные осциллограммы.

Для обработки осциллограмм используем окна «Коэффициент X», «Коэффициент Y». В окно «Коэффициент X» вводится коэффициент для изменения значений X по времени. Например, одна осциллогрмма была получена при развертке 100 нс/дел, а другая – 250 нс/дел. Чтобы иметь их в одном масштабе, необходимо исходные значения времени осциллограммы с разверткой 100 нс/дел умножить на коэффициент 2,5, который вводится в окно «Коэффициент X» для данной осциллограммы. Аналогичная операция может быть выполнена для значений Y, вводя соответствующий коэффициент в окно «Коэффициент Y».

Окна «Сдвиг по X» и «Сдвиг по Y» позволяют перемещать осциллограммы по осям на значение заданное в этих окнах. Если использовать курсоры и установить их на начало каждой осциллограммы, то в окне «Сдвиг X_1-X_2» будет показано значение, на которое необходимо сдвинуть одну осциллограмму относительно другой. Это значение вводится в окно «Сдвиг по X».

После каждого действия нажимается кнопка «Обновить», программа производит выполнение заданных команд. Результат выводится в поле окна «Графики сигналов».

В программе предусмотрена процедура вычитания одной осциллограммы из другой с последующей визуализацией в поле окна «Разность сигналов». Например, на рис. 2 приведены две осциллограммы импульсов-откликов, полученные при обследовании состояния обмоток трансформатора [4]. Один импульс-отклик является нормограммой (осциллограмма красного цвета), другой импульс-отклик является дефектограммой (получен при замыкании нескольких витков высоковольтной обмотки). Для визуализации разницы между этими импульсами применяем процедуру вычитания импульса. После необходимых действий над осциллограммами (взаимного совмещения, изменения напряжения на выбранный коэффициент и др.) нажимается кнопка «Вычислить разность» и в поле «Разность сигналов» получаем результат (рис. 3).

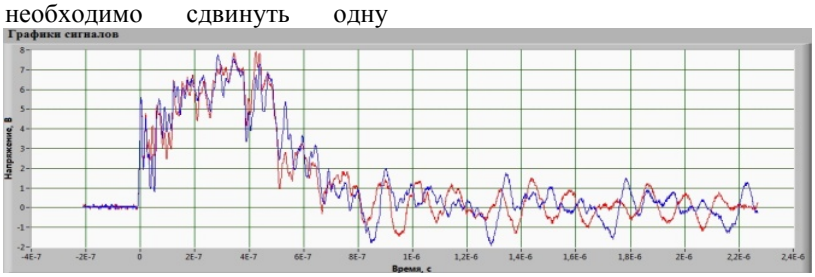


Рис. 2. Осциллограммы для обработки

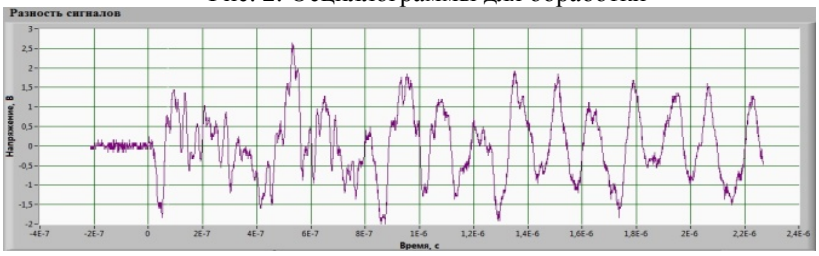


Рис. 3. Результат разности двух осциллограмм

Полученные результаты можно будет вывести в отчет, в котором полуавтоматически формируется: дата проведения испытаний; схема проведения эксперимента; испытатели, особые условия проведения эксперимента и т.д. Программа может быть установлена на любом компьютере под систему Microsoft Windows (не требуется полная установка программы Lab View), объем занимаемого пространства 600 кБ.

Результаты

Предложена "Программа цифровой обработки данных" PDDP (Program of digital data processing – PDDP), работающая в среде Lab View и позволяющая оперативно обрабатывать экспериментальные данные, получаемые современными цифровыми осциллографами с расширением *.csv, сравнивать сигналы в виде их разности и формировать отчет в формате Word.

Литература

1. http://www.originlab.com/.
2. http://www.home.agilent.com/ru/pd-2113078-pn-N8900A/infiniiview-oscilloscope-analysis-software?nid=-35491.1010837&cc=RU&lc=rus.
3. http://www.powergraph.ru/.
4. Lavrinovich V.A., Isaev Y.N., Mytnikov A.V. Advanced control state technology of transformer windings. – International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering". – 2013, V. 5, N. 4, pp. 94-98.

РАСЧЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТЕСЛА

Д.В. Ларионов
Научный руководитель: А.С. Юдин, н.с., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30
E-mail: mishika@tpu.ru

Введение.

Трансформатор Тесла производит разряды, по виду напоминающие молнии и представляющие собой незавершенный искровой лидерный разряд в воздухе. На кафедре Техники и Электрофизики Высоких Напряжений института Физики Высоких Технологий НИ ТПУ, создан полупроводниковый трансформатор Тесла, который предполагается использовать в качестве лабораторного стенда для изучения процессов в магнитно связанных резонансных колебательных контурах. На стадии расчета возникла проблема с выбором метода, позволяющего снизить материальные и временные затраты на изготовление. Обычно при расчете трансформатора Тесла исходят из параметров вторичной катушки или требуемой мощности трансформатора.

Описанный метод позволяет рассчитать параметры трансформатора, исходя из геометрических размеров высоковольтного терминала (тороида).

Теория работы.

Полупроводниковый и классический трансформаторы Тесла отличаются по схеме включения источника питания и виду переходного процесса и не имеют различий в конструкции колебательных контуров. Для расчета контуров воспользуемся схемой классического трансформатора Тесла.

Трансформатор Тесла представляет собой систему двух магнитно связанных резонансных колебательных *RLC* – контуров (Рис.1.).

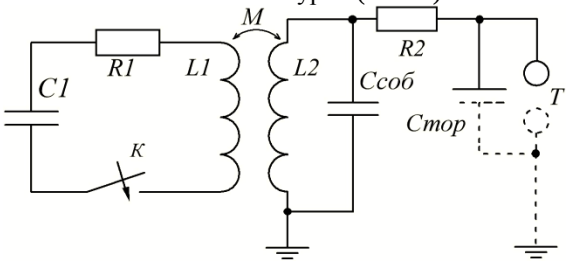


Рис.1. - Принципиальная схема классического трансформатора Тесла. C_1, L_1, R_1 – емкость, индуктивность, активное сопротивление первичного контура; L_2, R_2 – индуктивность и активное сопротивление вторичного контура, $C_{тор}$, $C_{соб}$, - ёмкости тороида и собственная обмотки, соответственно. Т – высоковольтный терминал (тороид). К – коммутатор, М – взаимная индуктивность контуров.

Ёмкость вторичного контура C_2, (2) состоит из емкости тороида относительно земли $C_{тор}$, собственной емкости вторичной обмотки $C_{соб2}$. Когда на тороиде возникает разряд, во вторичном контуре появляется добавочная ёмкость $C_{доб}$. Она ощутима только в больших трансформаторах, у которых длина стримера больше метра, в нашем случае ей можно пренебречь [2].

В начальный момент времени ёмкость C_1 заряжена до напряжения U_{c1}. После замыкания коммутатора K в первичном контуре L_1C_1 возникают свободные колебания, которые за счёт магнитной связи передаются во вторичный контур. Энергия, содержащаяся в C_1, перекачивается в C_2 и обратно до тех пор, пока не израсходуется на создание стримеров и рассеется в виде омических потерь, в сопротивлениях R_1 и R_2.

Для передачи энергии между контурами с наименьшими потерями необходимо, чтобы собственные частоты контуров были равны [1] т.е.:

$$f_{рез} = f_1 = 1/(2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}) = f_2 = 1/(2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}) \quad (1)$$

Или $L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2$

Напряжение на емкости C_2 достигает максимального значения U_{2max} при некоторых фиксированных значениях коэффициента связи k_c= 1; 0,6; 0,385; 0,28; 0,219 и т.д. Чем выше коэффициент связи между обмотками, тем меньше периодов колебаний требуется, чтобы достичь максимума напряжения [1].

Существует теория, что вторичная обмотка является вибратором Герца. При этом длина проводника вторичной обмотки должна быть $l_{n2}=n\cdot\lambda/4$, где $n=1,3,5\ldots$, λ –длина волны колебаний вторичного контура. Если обмотка соответствует данному условию (выр. 3 - 5), то максимум напряжения во время работы приходится непосредственно на незаземленный конец обмотки и тороид

Метод расчета.

В качестве исходных данных для расчета были приняты геометрические размеры имеющихся в свободной продаже материалов и частота резонанса $f_{рез}=160$ *кГц*. Обосновано это стремлением к уменьшению затрат на производство трансформатора.

Тороид: внешний диаметр D = 220 мм, диаметр сечения d = 80 мм. Диэлектрический сердечник вторичной катушки: диаметр d_2 = 50 мм, длина намотки l_2 = 350 мм.

Ёмкость тороида $C_{тор}$ [пФ], (размеры в см):

$$C_{тор}=(1{,}2781-\frac{D}{d})\sqrt{2\pi\cdot 0{,}155\cdot(D-d)\cdot d}$$

Собственная межвитковая ёмкость вторичной обмотки $C_{соб2}$ [пФ]:

$$C_{соб2}=0{,}29\cdot l_2+0{,}41\cdot R_2+1{,}94\cdot\sqrt{\frac{R_2^3}{l_2}}$$

где R_2 - радиус вторичной обмотки и l_2 в дюймах. Тогда суммарную емкость вторичного контура можно записать как:

$$C_2 = C_{тор}+C_{соб2} \qquad (2)$$

Расчет индуктивности вторичной обмотки производился по формуле (1). Далее определяем количество витков (размеры в см., L_2 [мкГн]):

$$n_2=\frac{\sqrt{5L_2(9d_2+20l_2)}}{d_2}$$

и сечение провода:

$$d_{n2}=\frac{l_2}{n_2}$$

Расчет M и k_c был произведен с помощью программы MandK 3.1. (Copyright (c) 2000 by Mark S. Rzeszotarski, Ph.D., Chesterland, Ohio, U.S.A.) Программа использует для расчёта двойной интеграл Неймана [3]. Значение коэффициента связи k_c = 0,219 определяется путем изменения высоты расположения начала вторичной обмотки относительно начала первичной.

Индуктивность первичного контура L_1:

$$L_1=\frac{M^2}{\sqrt{k_c^2\cdot L_2}}$$

Емкость первичного контура C_1:

$$C_1=\frac{1}{\left(2\pi\cdot f_{рез}\right)^2\cdot L_1}$$

где $f_{рез}$ – значение частоты резонанса.

Найдем коэффициент трансформации:

$$k_т=\sqrt{L_2/L_1}$$

Тогда выходное напряжение составит:

$$U_2=U_1\cdot k_m$$

Проверка по условиям работы четвертьволнового вибратора Герца. Найдем длину волны [2]:

$$\lambda=\frac{c}{f_{рез}} \qquad (3)$$

Длина проводника вторичной обмотки.

$$l_{n2}=n_2\cdot d_2\cdot\pi \qquad (4)$$

Число четвертей длин волн укладывающихся во вторичной обмотке

$$n=4\cdot\frac{l_{n2}}{\lambda} \qquad (5)$$

В нашем случае $n\approx1$, а значит, разрабатываемый трансформатор соответствует условиям работы четвертьволнового вибратора.

В результате расчета были получены следующие данные: первичная обмотка имеет форму усечённого конуса, диаметр первичной обмотки $d_{1внутр.}$–$d_{1внеш.}$=130-175 мм; высота первичной обмотки l_1=110 мм; диаметр проводника d_{n1}=6,7 мм; количество витков n_1=8; коэффициент связи k_c=0,219; взаимная индуктивность M = 216,3 мкГн; L_1 = 7,68 мкГн; C_1 = 195 нФ; Вторичная обмотка имеет форму соленоида, n_2 = 3160 витков; $d_{п2}$=0,1 мм; L_2 = 68,76 мГн; C_2 = 15,34 пФ. Выходное напряжение U_{2m}= 29,5 кВ.

Результаты измерений.

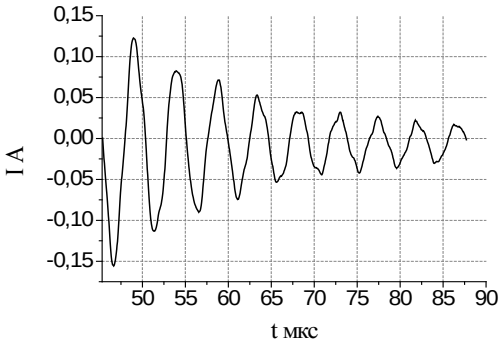


Рис.2. - Осциллограмма тока во вторичном контуре, опыт холостого хода.

Измеренное значение индуктивности L_2=75 мГн. По кривой тока *(Рис.2.)* были определены частота f=212 кГц, логарифмический коэффициент затухания δ=0,27, определены экспериментальные значения емкости [4],

$$C_2=\frac{T^2}{L_2\cdot(4\pi^2+\delta^2)}=7{,}5\cdot10^{-12}\text{Ф}$$

и активного сопротивления

$$R_2=\delta 2L_2/T=8{,}488\cdot10^3\ \text{Ом}$$

Выводы.

Применяемые инженерные формулы допускают погрешность расчетов. В процессе изготовления неизбежны незначительные отклонения геометрии элементов от расчетных значений. Накопление погрешности может привести к значительным отклонениям резонансной частоты от расчетной. Наиболее чувствительным к геометрии параметром по нашим данным является емкость вторичного контура.

Список литературы.

1. Коровин С. Д. Мощная импульсная энергетика: Курс лекций.–Томск: Изд. Том. ун-та., 2007.-256 с.
2. Mitch Tilbury The Ultimate Tesla Coil Design and consruction Guide. McGraw – Hill Companies inc.: 2008. 413 p.
3. Inductance Calculations: Working Formulas and Tables by Frederick Grover, D. Van, Nostrand Co., 1946, later reprinted by Dover Books.
4. Нейман Л. Р., Калантаров П. Л. Теоретические основы электротехники, ч. 1 и 2, Госэнергоиздат, 1959г.

ЭЛЕКТРОБАЛАНС СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА – ДИНАМИКА, ПЕРСПЕКТИВЫ

Леонова В.К.
Научный руководитель: Климова Г.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634041, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zvdlera@mail.ru

Вопросы рационального энергопотребления и повышения энергетической эффективности поставлены во главу повестки сегодняшнего дня во всем Мире.

Сибирский федеральный округ (СФО) располагает своей богатой топливно-энергетической и сырьевой базой, обеспечивая не только свои потребности в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР), но и являясь их важным поставщиком в другие регионы.

Баланс электрической энергии (ЭЭ) является частной производной сводного топливно-энергетического баланса СФО, рассмотренного в [1, 2] и служит своеобразным зеркалом, отражающим социально-экономический уровень развития территории, в том числе и то, насколько эффективно реализуется политика Государства в области энергосбережения.

Принятие в 2008 году Указа президента №889, а в 2009 году Федерального закона №261 послужило стимулом для разработки долгосрочных целевых программ (ДЦП) повышения энергетической эффективности территорий [1]. Основными индикаторами энергетической эффективности в соответствии с принятым законодательством служат: сводный топливно-энергетический баланс, частные энергетические балансы, показатели социально-экономического развития, энергоемкость и электроемкость производства единицы валового регионального продукта, потребление ТЭР и ЭЭ на душу населения.

Несмотря на то, что все ДЦП разрабатываются относительно 2009 года, авторами в данной работе используется статистический материал с 2000 года, так как большая выборка позволяет осуществлять более корректные прогнозы на перспективу, повышая достоверность моделей и выводов.

СФО один из немногих округов России, который практически обеспечивает свои потребности в ЭЭ собственной выработкой, 96% которой приходится на теплоэлектростанции и гидроэлектростанции. За рассматриваемое время производство ЭЭ в СФО увеличилось на 6%, а потребление на 13%.

Наиболее значимым фактором, влияющим на электропотребление, является валовый региональный продукт (ВРП), его структура и возможности ее изменения на перспективу. Так, в текущих условиях производство ВРП субъектами СФО относительно данных 2000г. увеличилось в 7,3 раза. 66% создаваемого ВРП приходится на Красноярский край, Иркутскую, Кемеровскую, Новосибирскую области. В отраслевой структуре ВРП доминируют обрабатывающие производства (21%), транспорт и связь (13%), предприятия оптовой и розничной торговли (13%), организации, осуществляющие работу с недвижимостью и государственное управление (15%), добывающие отрасли промышленности (10%).

В сопоставимых условиях складывается совсем иная картина – прирост ВРП к 2012 году составляет всего 30% относительно 2000 года.

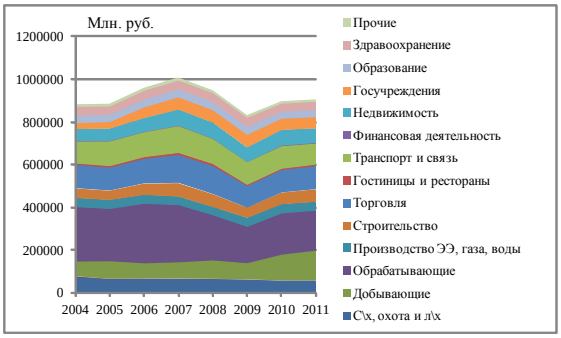


Рис.1_Структурная динамика ВРП в сопоставимых условиях относительно 2000г

Из рис. 1 видно, что доля видов экономической деятельности действительно создающих продукцию составляет 66-69%.

Зависимости, представленные на рис. 2 демонстрируют естественное снижение электроемкости в текущих условиях, далее рассматривать которые не целесообразно.

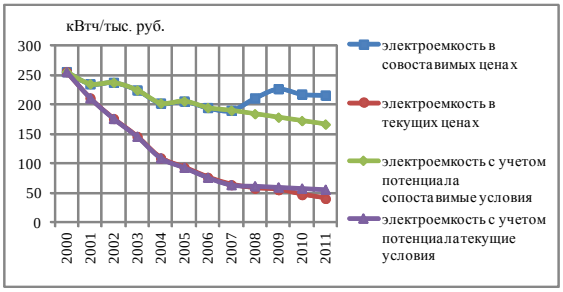


Рис. 2. Электроемкости ВРП в текущих и сопоставимых условиях с учетом и без учета потенциала энергосбережения

В сопоставимых условиях электроемкость ВРП в 2011 году составила 216 кВтч/тыс. руб., что на 40 кВтч/тыс. руб. меньше 2000 года. Снижение происходит, преимущественно, за счет изменения структуры ВРП в сторону неэнергоемких видов деятельности. В случае сохранения наблюдающихся тенденций потребление ЭЭ в СФО на ближайшую перспективу можно оценить

при помощи уравнения, полученного в программе STATISTICA

$$W'_{\text{ВРП}} = 2230{,}1409 \cdot x - 4{,}2868 \cdot 10^6 \text{, млн. кВтч.}$$

С учетом реализации назначенного потенциала энергосбережения электроемкость к 2020 году должна составить 114 кВтч/тыс. руб. В соответствии с Государственной программой энергосбережения достижение этого потенциала предполагается за счет привлечения внебюджетных источников и дальнейшего сокращения доли неэнергоемких видов деятельности в структуре ВРП. Уравнение примет вид

$$W'_{\text{ВРП}} = -2604{,}9007 \cdot x + 5{,}3973 \cdot 10^6 \text{, млн. кВтч}$$

Каким образом будет меняться структура электроемкости в разрезе видов экономической деятельности (ВЭД) в будущем сейчас сказать нельзя, так как отсутствует прогноз социально-экономического развития СФО на перспективу до 2020 года. На 2011 год электроемкости по ВЭД изменялись так (табл. 1).

Таблица 1

Электроемкости производства продукции по видам экономической деятельности

ВЭД	кВтч/тыс. руб.
Добывающие отрасли	59,1
Обрабатывающие отрасли	79,7
Производство, распределение ЭЭ, газа, воды	17,2
Строительство	2,2
С/х, охота и л/х	3,3
Транспорт и связь	18,4
Прочие	17

Добывающие и обрабатывающие отрасли промышленности характеризуются наиболее электроемким производством, следовательно, поиск основных резервов экономии ЭЭ следует начинать с них.

Условно все виды экономической деятельности можно разделить на создающие средства производства и создающие товары народного потребления [3]. Т.е. конечным потребителем прямо и косвенно всего, что производят ВЭД, является население. Приобретая товары народного потребления, население оплачивает электрическую составляющую в себестоимости продукции по нерегулируемым ценам для промышленных потребителей. Потребляя ЭЭ в быту, население оплачивает ее по регулируемым ценам, утверждаемым Департаментами тарифного регулирования либо Региональными энергетическими комиссиями.

В СФО наблюдается стабильная тенденция снижения численности населения на фоне роста потребления ЭЭ (табл. 2) [4].

Таблица 2

Население

	2000	…	2010	2011
Среднедушевые доходы, тыс. руб.	1933	…	15007	16568
Среднедушевое потребление ЭЭ, кВтч	958	…	1174	1282
Численность, тыс. чел.	20333	…	19252	19261

Объяснить рост среднедушевого потребления ЭЭ на фоне постоянно увеличивающихся тарифов можно только ростом благосостояния граждан.

С точки зрения реализации политики энергосбережения население – самая тяжелая категория потребителей и государство находится в поиске стимулирующих мер, допустим – социальная норма потребления ЭЭ для населения. С другой стороны это – завуалированный рост тарифов для населения.

При условии сохранения сложившихся тенденций получим следующее уравнение прогноза потребления ЭЭ для этой группы

$$W_н = 68{,}3287 \cdot x^2 - 2{,}7362 \cdot 10^5 \cdot x + 2{,}7394 \cdot 10^8 .$$

В среднем по СФО приросту 1500 руб. среднедушевых доходов будет соответствовать прирост потребления ЭЭ на 100 кВтч в год.

Потребительская часть электробаланса будет состоять из суммы двух блоков

$$W = W_{\text{ВРП}} + W_н .$$

В нынешних условиях, когда стали нередки аварии на объектах электроэнергетики, растет процент силового оборудования, подлежащего замене, себестоимость добычи ископаемых ТЭР, доля которых доминирует в топливно-энергетическом балансе важность вопросов планирования и прогнозирования электробалансов территорий находится на одном уровне с государственной политикой повышения энергетической эффективности страны.

Литература

1. Климова Г.Н., Литвак В.В. Семь проблем и семь ключей энергосбережения. – Томск: Издательство «Красное знамя», 2013. – 148с.

2. Климова Г.Н. Роль топливно-энергетического баланса в программе энергетической эффективности Томской области// Известия Томского политехнического университета, 2005. - т.308 - № 7. - с. 232-236.

3. Климова Г.Н., Литвак В.В., Яворский М.И. Оценка величины энергетических потребностей населения региона// Ресурсы регионов России, 2004. - № 5. - с. 20-24.

4. Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: http://gks.ru .

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Миляев Д.В., Нгуен Данг Куанг
Научный руководитель: Миляев Д.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kqh1215@gmail.com

Введение

Передача информации – это неотъемлемая часть многих информационных и вычислительных систем. Для этого часто используются проводные связи. При передаче информации происходят неизбежные потери искажения полезного сигнала. К причинам этого относятся влияния внешних полей, и параметры самой линии связи. В число таких параметров входит емкость кабеля. Значение емкости необходимо для оптимального выбора кабеля, а также для определения области применения данного вида кабеля.

Наиболее целесообразным и экономически выгодным является измерение емкости еще в процессе производства кабеля, на стадии нанесение изоляции. Это дает возможность изначально задавать необходимую емкость и контролировать постоянство ее значения по всей длине кабеля.

Поскольку, измерение емкости кабеля производится при отсутствии экранирующего слоя, в качестве второго электрода используется вода. Контроль емкости производится в охлаждающей ванне, куда помещается кабель после нанесения изоляционного слоя.

Структурная схема представлена ниже.

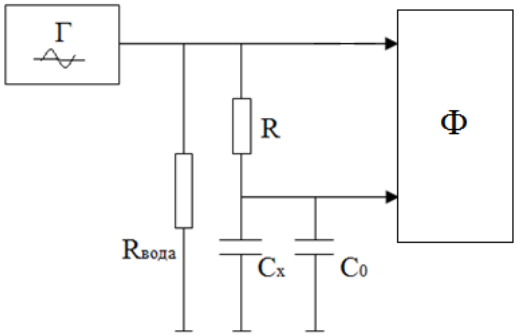


Рис 2. Структурная схема преобразователя: Г- Генератор; Ф- Фазометр.

При отсутствии кабеля в воде, в преобразователе измеряется $R_{вода}$ - сопротивления воды между корпусом и электродом питания, C_0-собственная емкость преобразователя, т.е емкость датчик без кабеля, R-сопротивление которое включаем между ЭП и РЭ. При присутствии выбираемое сопротивление R, то в преобразователе создается RC-цепочка первого порядка. Эта цепочка будет менять амплитуд, напряжение и фаз.

При отсутствии кабеля, бывает RC_0-цепочка первого порядка, фазовый сдвиг $\varphi_0 =$ $arctg(\omega \cdot R \cdot C_0)$.Этот фаз измеряется с использованием фазометр. При присутствии кабеля, в преобразователе возникает емкости кабеля, значения емкость RC-цепочка меняется на $(C_x + C_0)$, тогда фазовый сдвиг тоже меняется и равно $\varphi_x = arctg(\omega \cdot R \cdot (C_0 + C_x))$. Измерить разность фаз $\Delta\varphi_x = \varphi_x - \varphi_0$ для двух случи, можно определить емкости кабеля. Используем фазометр для измерения это значения. И он будет прямо пропорциональный с значением емкости кабеля.

Предполагаемая принципиальная схема емкостного преобразователя имеет вид, представленный на рис.1.

Преобразователь выполнен в виде полого цилиндра и включает в себя два электрода: электрод питания (ЭП), состоящий из двух частей 1, и рабочий электрод (РЭ) 2, расположенный между ЭП, ввод 3 для подачи напряжения питания, вывод 4, корпус 5. В процессе измерения, корпус ванны, корпус 5, а также жила кабеля заземляются.

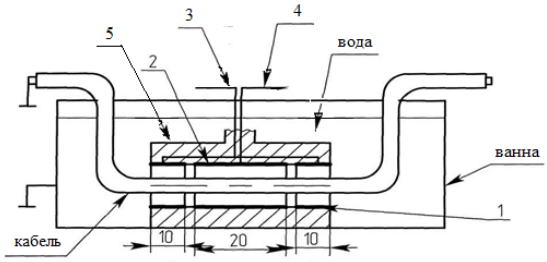


Рис. 1. Принципиальная схема емкостного преобразователя

$$tg\varphi_0 = \omega \cdot R \cdot C_0 = a$$
$$tg\varphi_x = \omega \cdot R \cdot (C_0 + C_x) = a + b \cdot C_x$$
Где $a = \omega \cdot R \cdot C_0, \quad b = \omega \cdot R$
$$tg\Delta\varphi_x = \frac{tg\varphi_x - tg\varphi_0}{1 + tg\varphi_x \cdot tg\varphi_0} = \frac{b \cdot C_x}{1 + a(a + b \cdot C_x)}$$
$$\rightarrow C_x = \frac{tg\Delta\varphi_x \cdot (1 + a^2)}{b \cdot (1 - a \cdot tg\Delta\varphi_x)} = \frac{(1 + a^2)}{b(\frac{1}{tg\Delta\varphi_x} - a)}$$

Сначала, нам надо определить чувствительность измерения сдвиг фаз между входным и выходным RC-цепи первого порядка. Благодаря этому, можно выбрать самые оптимальные частота, которые проводится эксперимент. Результат измерения представлены

ниже: Эксперимент проводится: R=330Ом, C_0=100нФ, $\Delta C = 1\% C = 1$нФ

f(кГц)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	30
φ_0	11.69	22.40	31.63	39.33	45.61	50.76	54.96	58.47	63.83	70.14	82.32
φ_x	11.78	22.57	31.84	39.56	45.87	51.01	55.19	58.70	64.01	70.27	82.39
$\Delta\varphi$	0.09	0.17	0.21	0.23	0.26	0.25	0.23	0.22	0.18	0.13	0.07
$S=\Delta\varphi/\Delta C$	0.09	0.17	0.21	0.23	0.26	0.25	0.23	0.22	0.18	0.13	0.07

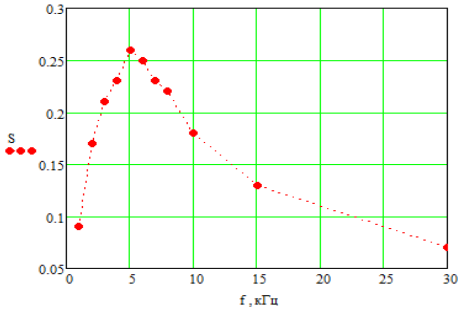


Рис 3. Зависимость чувствительности от частоты RC-цепи первого порядка.

Таблица 2.

Результат исследования выше показывает что, самая большая чувствительность достигается при частоте примерно 5кГц. Эта частота близко к частоте среза (1/RC), можно делать вывод. Что при измерении сдвиг фаз в частоте среза получает оптимальные значение. Емкость кабеля измеряется путем определить разность фаз между входным и выходным RC-цепи первого порядка.

Эксперимент проводится : R=300кОм, C_0=100пФ, f=5кГц.Результат измерения представлены на таблице 2.

$C_{обр}$(пФ)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta\varphi_x$1(°)	2.79	5.16	7.34	9.43	11.66	13.49	15.12	16.69	18.23	19.31
$C_{изм}$1(пФ)	10.25	19.77	29.4	39.45	51.3	61.7	71.6	81.7	92.2	102.8
$\Delta C/C$ (%)	2.5	1.15	2	1.38	2.56	2.83	2.3	2.13	2.4	2.8

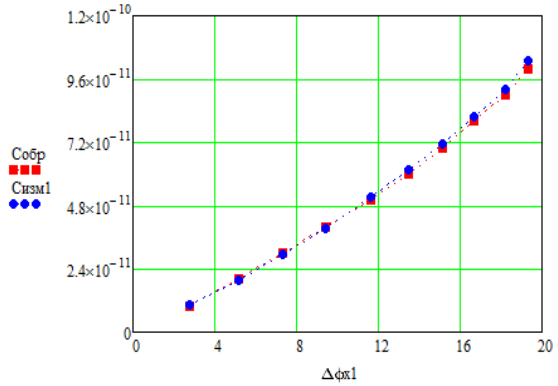


Рис 4. График зависимости значения разность фаза от емкости при R=300кОм, C_0=100пФ.

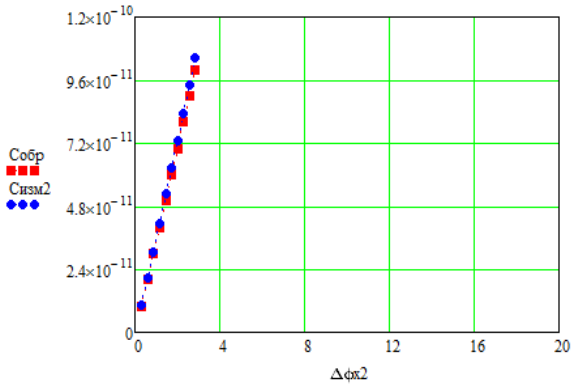


Рис 5. График зависимости значения разность фаза от емкости R=30кОм, C_0=1нФ.

Эксперимент проводится : R=30кОм, C_0=1нФ, f=5кГц.Результат измерения представлены на таблице 3.

Таблица 3.

$C_{обр}$(пФ)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta\varphi_x$2(°)	0.3	0.59	0.86	1.16	1.47	1.74	2.02	2.3	2.57	2.84
$C_{изм}$2(пФ)	10.42	20.77	30.6	41.45	52.7	62.8	73.1	83.5	93.9	104.3
$\Delta C/C$ (%)	4.2	3.85	2	3.63	5.4	4.67	4.43	4.38	4.33	4.3

Результат измерения показывают, что измеряемая емкость пропорционален значения разность фаза. Эксперимент проводится в частоте среза для получит самый оптимальный результат. Из рисунка 4 и 5 заметим, что значения разность фаза $\Delta\varphi_x$ зависит от собственной емкости C_0. Поэтому нам надо выбрать выгодную собственную емкостью C_0 для уменьшается погрешность измерения разность фаза $\Delta\varphi_x$ а так же емкость кабеля разность фаза C_x. Кроме того, можно использовать RC-цепи 2-ого или 3-ого порядка при измерения сдвиг фаза.

Список литературы

1. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учебное пособие для студ. Вузов. –М.:Мысш. шк., 1989. -384 с.
2. Белорусов И.И. Электрические кабели и провода, М.: Связьидат 1971-456 с.
3. Нгуен Д.К. Исследование первичного преобразователя измерителя емкости кабеля. – Томск: СТТ, 2013.

УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Д.А. Падалко
Научный руководитель: Гарганеев А.Г., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
padalko.da@gmail.com

В подавляющем большинстве случаев генерация электроэнергии осуществляется с помощью электрических машин постоянного и переменного тока. Наиболее распространенными промышленными системами генерирования электроэнергии (СГЭЭ) являются системы на основе синхронных генераторов (СГ), диапазон мощностей которых достаточно широк.

Специфика автономных СГЭЭ, в частности, для летательных аппаратов (ЛА), заключается в условиях применения, характеризующихся:

- широким диапазоном температур;
- разреженностью атмосферы;
- большими механическими перегрузками;
- соизмеримостью мощности генератора и потребителя;
- переменной частотой вращения авиадвигателя;
- работой при электрических перегрузках;
- безопасностью электрической машины при возникновении короткого замыкания нагрузки [1].

В настоящее время СГЭЭ на основе генераторов постоянного тока (ГПТ) уступают свое место системам на основе машин переменного тока, прежде всего, ввиду наличия ненадежного искрящего конструктивного элемента – щеточно-коллекторного узла, особенно плохо работающего в условиях разреженности атмосферы. СГЭЭ на основе СГ с постоянными магнитами на сегодняшний день являются наиболее востребованными и энергетически выгодными системами бортового электрооборудования. Исследованиям СГЭЭ на основе СГ с постоянными магнитами (СГПМ) при использовании в качестве преобразовательно-регулирующих устройств полупроводниковых преобразователей (автономных инверторов и выпрямителей) посвящен целый ряд работ [2 – 4]. Однако при всей своей привлекательности СГЭЭ на основе СГПМ имеют и ряд недостатков, основными из которых являются:

- низкая механическая прочность постоянных магнитов;
- старение постоянных магнитов;
- возможность размагничивания при высоких температурах;
- высокая стоимость постоянных магнитов;
- сложность организации защит от короткого замыкания, прежде всего, ввиду большого запаса электромагнитной энергии во вращающемся роторе. В аварийных ситуациях ЛА «неисчезаемый» запас электромагнитной энергии ротора потенциально опасен.

Альтернативой СГЭЭ с СГПМ является применение систем генерации на основе электрических машин с самовозбуждением – асинхронных и синхронно-гистерезисных генераторов (АГ и СГГ). Если системы генерации с АГ известны [5], то системы с СГГ ранее никем не рассматривались, поэтому авторами данной статьи фактически предлагается новое техническое решение.

Электрическая машина с самовозбуждением с позиций теории автоматического управления

С точки зрения теории автоматического управления режим самогенерации в электрических машинах различной конструкции аналогичен.

На рис. 1 приведены структурные схемы ГПТ и АГ с самовозбуждением.

Согласно схеме ГПТ наличие остаточного магнитного потока $\Phi_{ост}$ приводит при вращении якоря к возникновению ЭДС $E_г$ на выходе генератора. В обмотке возбуждения с числом витков $n_в$, представленной апериодическим звеном $k_в/(1+T_в\mathrm{P})$, возникает ток возбуждения, который создает МДС F и соответствующий магнитный поток. Таким образом, образуется контур положительной обратной связи по магнитному потоку, способствующий процессу самовозбуждения. Амплитуда потока и ЭДС ограничивается за счет нелинейности характеристики намагничивания $\Phi(F)$. Как и в схемах с самовозбуждением представленный процесс характеризуется балансом фаз и амплитуд. Что касается баланса амплитуд, то он выполняется при петлевом коэффициенте усиления, равном единице и может быть получен из выражений общей передаточной функции системы. Баланс фаз в ГПТ фактически отсутствует, так как коллектор, выполняющий функцию «модулятора-демодулятора», превращает переменный в якоре магнитны поток в постоянный.

В схеме АГ происходит фактически тот же процесс, что и в схеме ГПТ. Однако для выполнения баланса амплитуд в статорной цепи переменного тока необходимо получить емкостную составляющую тока I_C, которая в цепи ротора «поддержит» развитие магнитного потока.

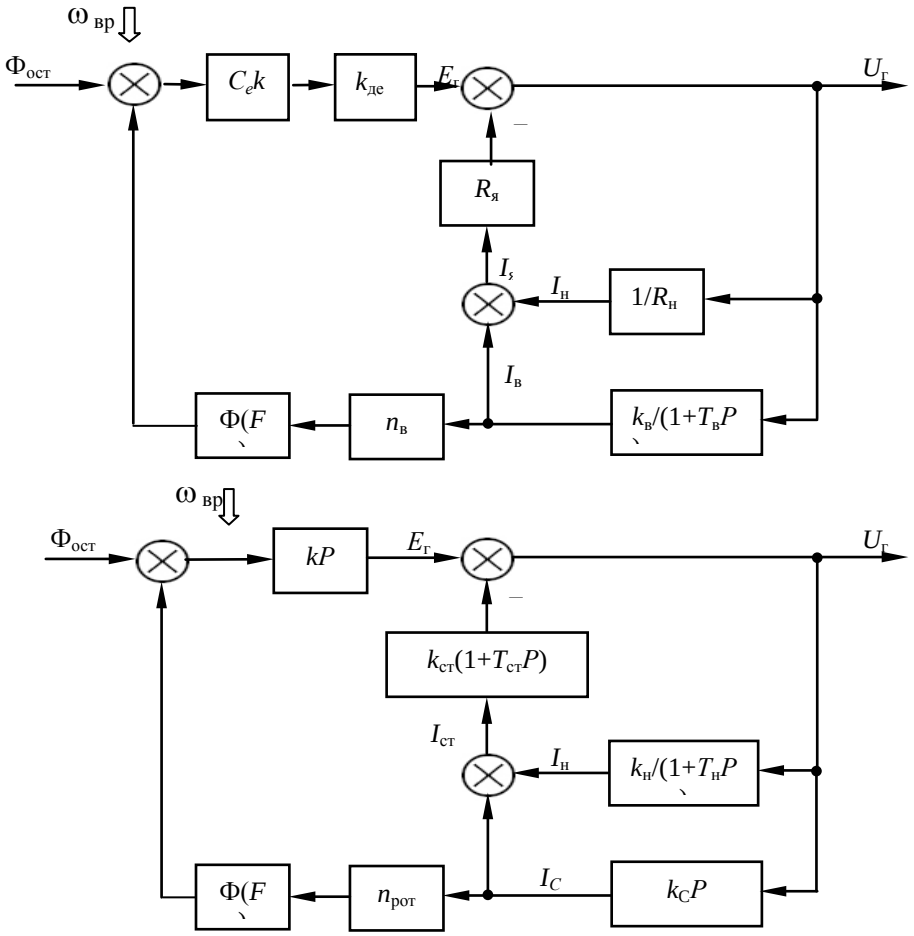


Рис. 1. Структурные схемы ГПТ и АГ, СГГ.

Представленные схемы позволят получить известные в теории электрических машин условия самовозбуждения, однако, с позиций теории автоматического управления. Вывод условий самовозбуждения возможен путем нахождения общей передаточной функции представленных схем. Ниже представлены условия полученные условия самовозбуждения для ГПТ и АГ:

$$\frac{X_{\text{ГПТ}} - R_{\text{Я}}}{R_{\text{В}}} \geq 1 + \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{Н}}}$$

$$\frac{X_{\text{М}} - X_{\delta}}{X_C} \geq 1 + \frac{X_{\delta}}{Z_{\text{Н}}}$$

Для подтверждения полученных результатов, был произведен вывод условия самовозбуждения ГПТ из уравнений равновесия напряжения обмотки возбуждения и уравнения равновесия напряжения цепи ротора.

Мехатронные системы с самовозбуждением электрических машин

Необходимость регулировки выходного напряжения АГ и СГГ при изменении нагрузки как по величине, так и по характеру приводит к идее применения в СГЭЭ в качестве поставщика и регулировщика емкостного тока полупроводникового преобразователя (ПП), способного работать в режиме инвертора или активного выпрямителя.

Схему мехатронной СГЭЭ переменного тока, получим, заменив батарею конденсаторов (блок $K_c P$), в структурной схеме АГ, на полупроводниковый преобразователь. Согласно этому, ПП образует необходимый уровень емкостного тока, поддерживающий процесс самовозбуждения в диапазоне регулирования. Для СГГ в ПП дополнительно предусмотрено наличие устройства импульсного подмагничивания ротора, как это используется у синхронно-гистерезисных двигателей. При возникновении аварийных ситуаций, приводящих к перегрузке СГЭЭ процесс самогенерации автоматически прекращается («срыв генерации»), не приводя к катастрофическим последствиям.

Изменение скорости первичного двигателя и нагрузки по величине приводит к необходимости применения в автономных СГЭЭ полупроводниковых преобразователей, превращая СГЭЭ в мехатронную систему. Мехатронные системы могут составить альтернативу дорогостоящим системам с постоянными магнитами. Представляется интересным исследование создания систем генерирования электроэнергии с СГГ, поскольку данные машины занимают промежуточное место между синхронными машинами с ПМ и асинхронными машинами, обладая свойством самовозбуждения

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНООСНОГО ТРЕКЕРА И АКРИЛОВОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Петрусёв А.С.
Научный руководитель: Сарсикеев Е.Ж., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: science-alex@mail.ru

Сейчас солнечная энергетика растёт бурными темпами – на 30% в год. В 2013 году было введено 30ГВт солнечных мощностей, тогда как общее количество в 2012 составляло 102 ГВт. К тому же по чистоте, распространённости и масштабу ресурсов из возобновляемых источников энергии она наиболее перспективна. Но на нынешний момент солнечные батареи имеют два весомых недостатка – высокую цену и низкую эффективность.

Данный проект направлен на то, чтобы решить, в зависимости от нужд, любую из этих проблем. Высокая цена солнечных батарей определяется, в первую очередь, высокой ценой фотоэлементов за единицу вырабатываемой электроэнергии. Увеличение собственного КПД фотоэлементов в разы увеличивает их стоимость. Поэтому единственный способ снизить цену на солнечные батареи – это увеличить мощность солнечного потока, падающего на единицу площади фотоэлемента. Есть 2 способа сделать это – ориентировать солнечную батарею на солнце (использовать солнечный трекер) или концентрировать солнечную энергию (использовать концентратор).

Концентратор – устройство, которое позволяет собирать солнечную энергию с большей площадью и направлять её на меньшую площадь. Сейчас концентраторы представлены в основном параболическими зеркалами и линзами Френеля. Есть также другие различные сложные и не очень системы зеркал с различной степенью концентрации, но они не получили широко распространения из-за различных весомых недостатков. Есть также значительные минусы и у указанных концентраторов. Параболические зеркала очень большие и тяжёлые из-за своей конструкции, не позволяющей сделать их меньше, а значит, подвергают систему повышенному риску поломки. Также они требуют очень точного ориентирования на солнце и систем охлаждения, иначе их эффективность крайне снижается. Линзы Френеля имеют меньшую, но всё же значительную толщину, а также требуют ещё более точного наведения и более мощного охлаждения, стоят дороже.

В связи с этим мы предлагаем уникальный акриловый концентратор, который решает эти проблемы. Он представляет собой лист оргстекла толщиной всего около 1 сантиметра, состоящий из специальной светоотражающей поверхности, а также 2 клиньев, направленных наклонными плоскостями друг к другу и имеющими между собой зазор, заполненный специальным клеем. Благодаря рассчитанным и точно подобранным характеристикам коэффициентов преломления сред в концентраторе, а также углов клиньев и рёбер светоотражающей поверхности, выполненный концентратор позволяет собирать солнечную энергию со всей приёмной поверхности и направлять её в торцы, на которых расположены фотоэлементы. Благодаря отношению площади приёмной поверхности концентратора к одному торцу как 1 к 14, достигается 7ми кратная концентрация с КПД 75%. КПД посчитан теоретически и подтверждён экспериментально. Концентратор имеет маленький вес и объём, имеет большую диаграмму направленности на солнце и не требует мощных систем охлаждения, позволяя обойтись пассивными радиаторами.

Проведены расчёты зависимости работы концентратора от наклона в программе ZEMAX. Получено, что он эффективно работает в пределах -3 до -0,1 градусов по одной оси и от -30 до +30 градусов по другой оси, поэтому возможна ориентация даже только в одной плоскости. Но даже при таких условиях необходим солнечный трекер, осуществляющий движение, по крайней мере, по одной оси.

Солнечный трекер – это устройство, направляющее солнечную батарею или концентратор на солнечные лучи, позволяя выработать им в течение дня большее количество энергии. Трекеры бывают активные, пассивные и с ручной наводкой. Наиболее универсальны активные системы ориентирования, т.к. они способны работать в автоматическом режиме без оператора, а также находить наиболее активно излучающий источник света, а не опираться на заранее заготовленный механизм движения. Также системы могут ориентироваться, двигаясь либо по одной, либо по 2м осям. Хотя двухосевая даёт небольшой выигрыш по сравнению с одноосевой системой, она сложнее и дороже, поэтому не всегда оправдывает себя[1]. Поэтому в условиях нашего географического положения мы предлагаем уникальный одноосевой активный солнечный трекер. Принцип его действия основан на аналогово-цифровом сигнале платы управления, которая позволяет отказаться от использования микроконтроллеров и шаговых двигателей, позволяя снизить цену системы и упростить её, сохраняя качество и надёжность.

Была выведена формула о зависимости мощности, доходящей до фотоэлементов, в зависимости от угла падения на солнечную батарею лучей. Были произведены практические подтверждения.

Ход опыта: солнечная батарея была установлена в начальное положение перпендикулярно линии падения лучей с помощью трубки, в которой имелось продольное сквозное отверстие (ориентация происходила до появления яркой светящейся точки под трубкой). Затем с помощью аналогично установленного пиранометра было измерено количество суммарной солнечной радиации, падающей на 1 квадратный метр, перпендикулярный линии падения лучей.

После этого была вычислена мощность батареи путём измерения её силы тока и напряжения при разных углах между нормалью к фотоэлектрическому модулю и линией падения лучей. Угол наклона регулировался с помощью специально сооружённой стойки, на которой ранее произведённый фотоэлектрический модуль мог принимать устойчивые положения с шагом в 15 градусов (Рисунок 1). Количество измерений для каждого угла равнялось трём. Среднее арифметическое измерений заносилось в таблицу и отмечалось на графике зависимости мощности батареи от угла падения лучей. В результате было получено, что точки и график практически совпадали. Небольшие отклонения объясняются тем, что измерения проводились не мгновенно, а в течение десятиминутного промежутка времени, за который мощность излучения изменилась, а также погрешностью ориентации на солнце и измерительных приборов.

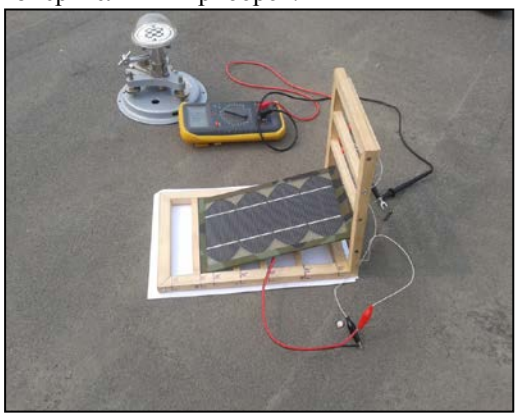


Рис. 1. Измерение мощности модуля

С помощью дальнейших вычислений получено, что без трекера солнечная батарея теряет около 40% выработки электроэнергии в течение дня[2].

Установка состоит из самой солнечной панели, платы управления, регулирующей поворот системы, аккумулятора, который питается от солнечной панели и от которого работает мотор, вращающий систему, и нагрузка, а также оптических концевиков, не позволяющие вращаться батарее более чем на 200 градусов, предотвращая наматывание и излом проводов.

Главной частью установки является плата управления. Её принцип действия основан на 2х светодиодах, разведённых под углом 40 градусов. Датчиками для платы управления служат именно светодиоды, а не фотодиоды. Вследствие того, что принцип действия у них во многом схож, можно использовать боле доступные светодиоды вместо более дорогих фотодиодов.

При попадании фотонов света на светодиоды электроны n- слоя выбиваются из дырок, но в большинстве своём рекомбинируют, вследствие того, что не способны преодолеть гораздо более широкий p-n переход, нежели у фотодиодов. Тем не менее, небольшое число электронов всё же преодолевают его. Создаётся разность потенциалов и начинает течь ток, который усиливается установленным в плате транзистором.

Когда солнечное излучение падает больше на один из диодов, то формируется сигнал, который обрабатывают микросхемы, замыкающие противоположные по знаку полюса, начинает течь ток и работать мотор. Плата позволяет регулировать шаг системы. Изменяя сопротивление на реостате, можно добиться изменения времени между включениями солнечного трекера – от нескольких секунд до нескольких часов. Это необходимо в связи с тем, что солнце движется относительно отдельно взятой солнечной панели медленно, а постоянно включённый трекер потребляет лишнее количество энергии. Были произведены расчёты и выведена формула для зависимости мощности системы от шага ориентирования. Они показали, что наибольшей эффективности система достигает при шаге в 1 час для солнечных батарей и в 8 минут для концентраторов.

Использование трекера позволяет увеличить эффективность работы на 30-35% для солнечных батарей и в несколько раз для концентратора. Применение же концентратора и трекера одновременно позволяет снизить стоимость солнечной энергии более чем в 2 раза.

Созданы лабораторные рабочие образцы концентратора (1Вт) и трекер (10Вт). Ведётся работа над масштабированием образцов, а также над возможностью замены в концентраторе акрила на структуру из полиэстера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрченко А.В. и др. Система слежения за солнцем для солнечной энергоустановки / А.В Юрченко, М.В Китаева. А.В. Охорзина // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений, 2010. – С. 210-221.

2. Вавилова О.С. Формулы Френеля – теория отражения / О.С. Вавилова, Ю.П. Яшин –СПб.: СПбГПУ 2003 – 9 с.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УСТРОЙСТВОМ ГРАМ

Присекин А.И.
Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, Карла Маркса, 20; E-mail: prisekinai@gmail.com

Тепловые электрические станции (ТЭС) составляют 68,1 % в структуре установленных мощностей единой энергосистемы России. Их привлечение к участию в первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты имеет большое экономическое значение. На сегодняшний день основную задачу регулирования частоты выполняют гидроэлектростанции (ГЭС), имеющие регулировочный диапазон, равный установленной мощности и малое время мобилизации резервной мощности.

На ТЭС реализация функций первичного и автоматического вторичного регулирования частоты возможна в том случае, если системы регулирования турбин удовлетворяют требованиям по регулированию частоты в соответствии с [1] и [2]. Это становится возможным при использовании электрогидравлических регуляторов турбин. Поэтому на действующих станциях необходима замена старых гидромеханических систем регулирования на новые электрогидравлические. Однако реализация такой замены возможна только при реконструкции основного оборудования с целью продления срока его эксплуатации на 15 – 20 лет [3].

Примером привлечения ТЭС к активному регулированию частоты и перетоков активной мощности является опыт Восточно-Германской энергетической компании. При рассмотрении вопроса о привлечении ТЭС к регулированию на первом этапе определяется, какие электростанции и какими энергоблоками должны участвовать в первичном и вторичном регулировании. Решения согласуются с центральной диспетчерской системой (ЦДС), исходя из задачи достижения максимального КПД по энергосистеме в целом.

На основании принятого решения при наличии в энергосистеме достаточного резерва мощностей, целесообразно установить базовый режим работы без непрерывного участия в регулировании для наиболее экономичных современных энергоблоков, даже если они готовы к участию в первичном и вторичном регулировании частоты. Для этого на этих энергоблоках вводится достаточно большая зона нечувствительности системы регулирования по частоте.

Менее экономичные ТЭС и их энергоблоки привлекаются к активному участию в системном регулировании. Для них это является одним из условий активного участия в рынке продажи электроэнергии.

При решении задачи распределения первичных и вторичных резервов, а также при регулировании должны учитываться ограничения по перетокам активной мощности в системообразующих связях, это влияет как на выбор ТЭС для их участия в первичном и вторичном регулировании частоты, так и на технические решения по осуществлению вторичного регулирования.

В условиях развивающегося рынка возрастает роль стабильности частоты, так как её значение является показателем эффективности первичного регулирования во всех частях объединения и способности единой энергосистемы противостоять распространению небалансов из одних частей объединения в другие. Возрастание стабильности частоты повышает надёжность работы ЕЭС, и позволяет уменьшить суммарную мощность вращающегося резерва в энергосистеме. При этом существенно возрастает роль первичного регулирования.

Жёсткие требования по поддержанию частоты ужесточают требования к системам автоматического регулирования. Они должны обеспечивать выполнение сложных алгоритмов управления, рассчитанных на работу энергоблоков в различных эксплуатационных режимах с учётом возможных ограничений и различных комбинаций использования вспомогательного оборудования.

Для обеспечения необходимой эффективности система автоматического регулирования мощности энергоблока должна выполняться как координированная: системы регулирования и турбины и котла в соответствии с выбранными параметрами настройки должны совместно участвовать в отработке возмущений по мощности. В том случае, если в состав блока входит прямоточный котёл, обладающий малой аккумулирующей способностью, выполнение раздельного регулирования затруднительно. Это подтверждают расчеты, результаты которых приведены на рис. 1.

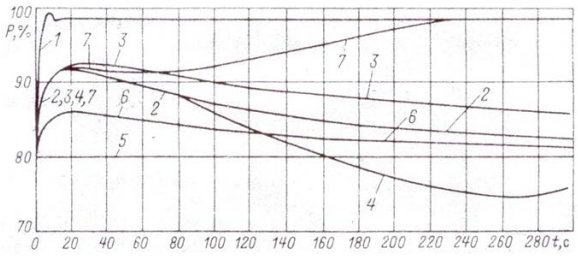


Рисунок 1 – Зависимости изменения мощности энергоблока во времени в случае снижения частоты (расчет на ЭВМ).

Исходными данными являются нагрузка блока 80 % и резерв мощности 20 %. Идеальной является зависимость 1, при построении которой полага-

лось, что давление пара перед турбиной постоянно и регулирование происходит только под действием системы автоматического регулирования частоты вращения (АРЧВ). В случае использования прямоточного котла и поддержании постоянного расхода топлива зависимость приобретает вид 2. Зависимость мощности от времени при аналогичных условиях для барабанного котла изображена кривой 3. При использовании регулятора давления в режиме «до себя» для прямоточного котла (зависимость 4) наблюдается наибольшее снижение вырабатываемой мощности энергоблока в процессе регулирования. При работе энергоблока на скользящих параметрах пара, то есть при полностью открытых регулирующих клапанах турбины, вырабатываемая мощность энергоблока не изменяется (зависимость 5). В случае полного открытия 60 % регулирующих клапанов зависимость имеет вид 6. Режим координированного регулирования мощности котлом и турбиной (зависимость 7). Последний случай является наиболее близким к оптимальному (зависимость 1), и является наиболее перспективным, но и наиболее сложным для реализации в системах автоматического регулирования.

Первичное регулирование требует наиболее быстрой мобилизации резервной мощности [1]. Для вторичного решулирования эти требования мягче. Эффективное участие ТЭС в автоматическом вторичном регулировании требует обеспечения достаточной плавности и точности регулирования. На ГЭС такие требования достигаются использованием групповых регуляторов частоты и активной мощности (ГРАМ). Представляется целесообразной разработка и внедрение подобной системы для ТЭС.

Система ГРАМ должна являться составной частью системы регулирования активной мощности станции. При этом структурная схема принимает следующий вид [4, 5] (рис. 2).

На структурной схеме изображены следующие элементы. $N_{зд.\ пл.}$, $N_{ручн.}$, $N_{зд.непл.}$ – плановое, ручное и неплановое задание мощности соответственно, f – частота сети. ГРАМ – групповой регулятор активной мощности, ДМ – датчик мощности, РНТ – регулятор нагрузки турбины. РНК – регулятор нагрузки котла, Г – генератор, Т – турбина, К – котёл.

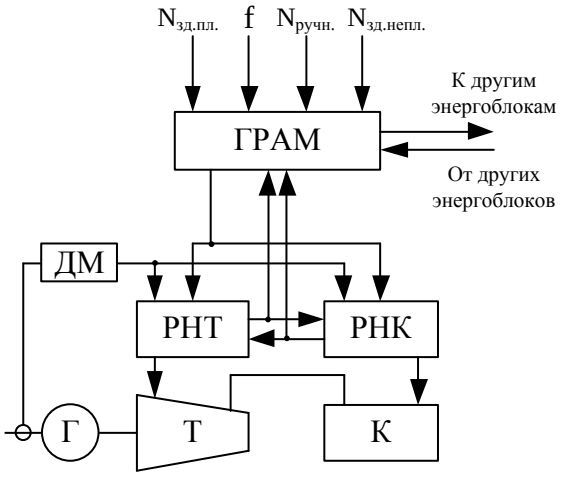


Рисунок 2 – Структурная схема регулирования мощности ТЭС, включающая в себя ГРАМ

Список использованных источников

1. СТО 59012820.27.100.003-2012 «Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования».

2. СТО 59012820.27.100.002-2013 «Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности».

3. Научно-технические проблемы и программные задачи повышения эффективности регулирования частоты и мощности в ЕЭС России в условиях конкурентного рынка / Коган Ф.Л. – Электрические станции, 2002, № 4.

4. Беркович М.А. и др. Автоматика энергосистем: Учеб. Для техникумов/ М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.: ил.

5. Проблема регулирования частоты сети и мощности энергоблоков и её решение на средствах АСУ ТП / Лыско В.В., Биленко В.А., Свидерский А.Г., Меламед А.Д. – Электрические станции, 2004, № 1.

ПОЛУЧЕНИЕ ФАЗ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Свечканева А.А.
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 работе приведены результаты исследований по прямому динамическому синтезу ультрадисперсных порошков оксида железа. Нанодисперсные материалы на основе оксидов железа используются в системах записи и хранения информации, в системах магнитного охлаждения, в новых постоянных магнитах [1]. В том числе находят свое применение в медицинской области, например, транспортная доставка лекарств в организм человека, контрастные средства для магнитно-резонансной томографии, воздействие на раковые клетки с помощью гипертермии [2,3]. Так же ультрадисперсные порошки оксида железа используют для получения водорода с помощью электролиза воды под действием солнечного света с участием слабых токов оксида железа.

Ранее в работах [4] была показана возможность получения ультрадисперсных порошков оксидов железа, плазмодинамическим методом. Струя в замкнутом объеме камеры-реактора (КР) генерируется импульсным (порядка 10^{-4} с) сильноточным (порядка 10^5 А) коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами (сталь3). Электропитание КМПУ осуществляется с помощью емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с емкостью конденсаторной батареи С=14,4 мФ и зарядным напряжением $U_{зар}$= 4,0 кВ [4]. Давление в КР составляет P_0 = 1,0 атм. Так же канал формирования плазменной струи (КФПС) заполняется водой массой 1 грамм. Использованная конструкция системы с КПМУ позволяет закладывать в КФПС до 1.0 г необходимого материала для инициирования и дугового разряда с током ~ 100 кА. Использованная экспериментальная технологическая установка для получения ультрадисперсных оксидов железа представлена на рис.1.

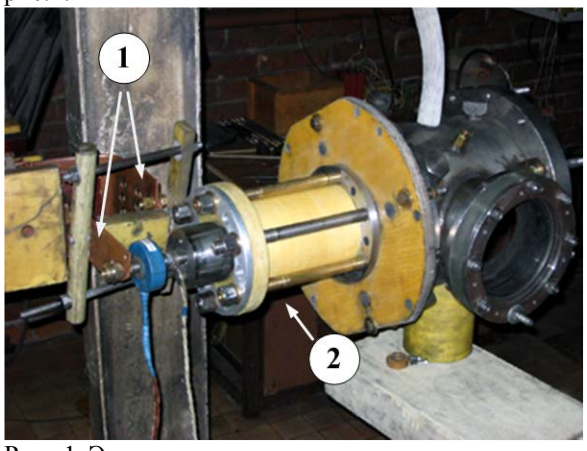


Рис. 1 Экспериментальная технологическая установка. (1-сборный коллектор разрядного контура, 2-коаксиальный магнитоплазменный ускоритель)

В начале рабочего цикла под действием нарастающего тока происходит электроэрозионная наработка материала с поверхности УК, который ускоряется в коаксиальной системе в виде разряда типа Z-пинча. Эродированный металл поступает в плазму разряда и выносится сверхзвуковой струей, распыляясь в КР с образованием ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа.

На рис.2 приведены характерные рентгеновские дифрактограммы УДП (дифрактометр Shimadzu XRD-6000) полученные в воздушной атмосфере(1) и с использованием 1 грамма воды(2) при давлении в P_0=1,0 атм.

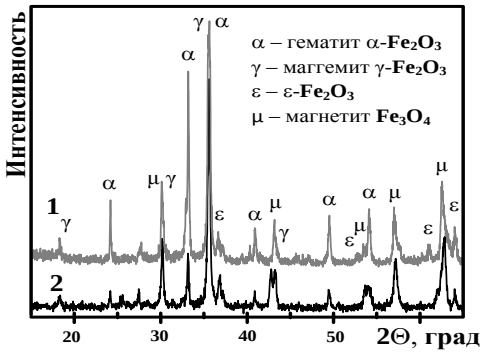


Рис. 2 Характерные дифрактограммы УДП.

Количественный структурно-фазовый анализ дифрактограмм (оценочного характера для гетерофазных систем) проведен с помощью программы полнопрофильного анализа Powder Cell 2.4 и базы структурных данных PDF4+.

На рис. 2 видно, что полученные дифрактограммы опытов содержат одинаковые рефлексы, что позволяет говорить о наличие одних и тех же фаз (магнетит Fe_3O_4 (пространственная группа SG: Fd3m); маггемит γ-Fe_2O_3 (SG:P 4_3 2_1 2); орторомбическая модификация ε-Fe_2O_3 (SG: P n a 2_1); гематит α-Fe_2O_3 (SG: R3c)).

По процентному содержанию масс (таблица 1) видно, что наличие наиболее магнитных фаз во втором случае (рис.2 кривая 2) гораздо выше, чем в первом случае (рис.2 кривая 1). То есть, являясь дополнительным окислителем (в первую очередь это воздушная атмосфера) вода быстрее проводит окислительный процесс, следовательно, в нашем случае мы имеем значительное увеличение магнитных фаз.

Таблица 1. Данные рентгеновского анализа

№ кривой	Фаза	Fe_3O_4	γ-Fe_2O_3	ε-Fe_2O_3	α-Fe_2O_3
1	Содержание, % масс	11,9	45,5	29,4	13,5
	Общее содерж., % масс	**57,4**			
2	Содерж., % масс	41,8	43,6	12,3	2,7
	Общее содерж., % масс	**85,2**			

Так же были проведены дополнительные исследования полученного УДП оксида железа. Полученный порошок был разделен на несколько частей для исследования магнитных свойств и влияние на них температуры. Одна из них была подвергнута быстрому отжигу (б/о) – постепенный нагрев до 550°С. Вторая часть же нагревалась в течение часа при температуре 600°С – долгий отжиг (д/о).

Исследования магнитных свойств УДП оксидов железа (до и после долгого и быстрого отжига) проведены на импульсном магнитометре Н-04 в поле 13,0 кЭ [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.

На рис. 3 показаны удельные намагниченности при комнатной температуре, которые равны: 56,2 Гс·см^3/г; 49,1 Гс·см^3/г; 42,6 Гс·см^3/г, 27,8 Гс·см^3/*г* соответственно.

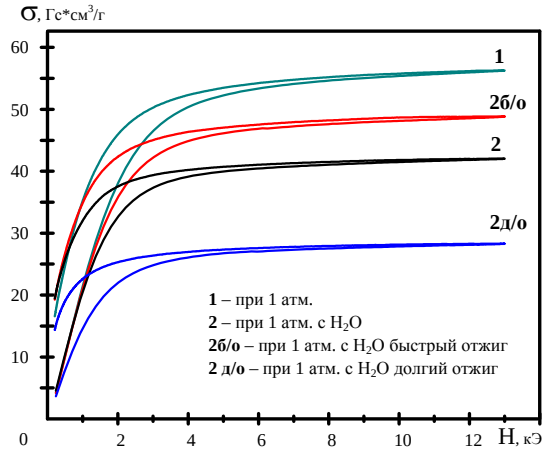


Рис.3. Кривые удельной намагниченности УДП

Видно, что все три образца УДП, собранных со стенок КР, имеют достаточно близкие значения намагниченности насыщения, которые оценочно равны суммарной намагниченности присутствующих магнитных кристаллических фаз (Fe_3O_4, γ-Fe_2O_3) с учетом их процентного содержания.

Наиболее высокая удельная намагниченность кривой 1 говорит о наличии достаточно больших размеров частиц и собранными из них агломератами. Удельная намагниченность кривой 2б/о объясняется укрупнением частиц под воздействием температуры. Кривая 2д/о с намагниченностью в 27,8 Гс·см^3/г говорит о наиболее мелких частицах присутствующих в УДП.

В соответствии с известным представлениями удельная намагниченность насыщения снижается с уменьшением размеров магнитных наночастиц.

Для подтверждения предполагаемых объяснений касательно удельной намагниченности была проведена сканирующая электронная микроскопия (SEM) на микроскопе HITACH TM-3000. Снимки скопления объектов в составе продукта приведен на рис.4.

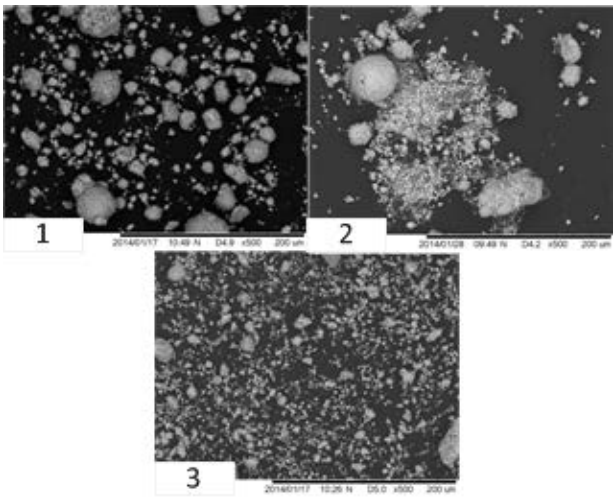


Рис.4. SEM снимок скопления объектов в составе продукта. (1-при 1 атм., 2-при 1 атм. с H_2O, 3-при 1 атм. с H_2O долгий отжиг)

Проведенные исследования показали, что гетерофазные УДП оксидов железа, полученные плазмодинамическим методом обладают высокими магнитными характеристиками, приближающимися с характеристиками объемных материалов.

Магнитные свойства нано размерных частиц определяются многими факторами – химический состав, тип кристаллической решетки, размер и форма, так же и взаимодействие их с другими частицами. Изменяя размеры, форму и состав частиц можно в определенных пределах управлять магнитными характеристиками материалов на их основе. Однако, контролировать все эти факторы при плазмодинамическом синтезе удается далеко не всегда, поэтому и свойства однотипных материалов могут различаться.

Список литературы.

1. Баранов Д.А., Губин С.П. Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза// Наносистемы-2009-т.1, номер 1-2, с.129-147

2. 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

3. 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

4. Колганова Ю. Л. , Свечканева А. А. Плазмодинамический синтез ультрадисперсных оксидов железа //Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск: ТПУ, 2012 - Т. 1 - С. 63-64

5. Найден Е.П. и др. Процессы старения в наноразмерных порошках феррошпинелей// ФТТ, 2009, в.8

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ И FRAX-150

Семенов А.С.
Научный руководитель: Лавринович. В.А.,д.т.н., профессор
Томский политехнический университет,634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина,30
E-mail:sayal@sibmail.com

Для диагностики механического состояния обмоток трансформаторов известны два метода: метод спектрального анализа [1] и метод наносекундных импульсов [2]. Наиболее популярным в данное время является метод анализа амплитудно-частотных характеристик (FRA). Для диагностики этим методом разными фирмами выпускаются соответствующие приборы. Наиболее распространенным в нашей стране является прибор фирмы «Megger» FRAX-150 [3]. В качестве альтернативы методу амплитудно-частотного анализа в ТПУ на кафедре ЭЭС разрабатывается метод наносекундных импульсов. В качестве генератора наносекундных импульсов используется кабельный генератор по схеме Введенского типа «НАНОТЕСТ-1». Необходимо знать чувствительность этих приборов к различным дефектам обмоток трансформатора. В данной работе поставлена цель, сравнить чувствительность «FRAX-150» и «Нанотест-1» к межвитковым замыканиям.

Суть метода диагностики измерительным прибором FRAX-150 заключается в подаче синусоидального сигнала амплитудой 10 В в диапазоне частот от 1 Гц до 2 МГц на одну из обмоток трансформатора и регистрируется сигнал-отклик на другой обмотке трансформатора. Измерительный комплекс осуществляет регистрацию амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) системы двух обмоток трансформатора, которая анализируется электронной схемой прибора и представляется графически на экране встроенного дисплея в диапазоне частот FRAX-150.

Принцип диагностики методом наносекундных импульсов заключается в подаче на одну из обмоток трансформатора прямоугольного наносекундного импульса, в нашем случае от генератора типа «Нанотест-1», и регистрации на осциллографе сигнала-отклика с другой обмотки трансформатора. Используемый генератор «Нанотест-1» позволяет формировать на согласованной нагрузке 75 Ом импульс без отражений амплитудой до 200 В, длительностью фронта и спада ~10 нс и длительностью импульса ~400 нс.

Эксперименты проводились на физической модели силового трехфазного двухобмоточного трансформатора. С числом витков на обмотке высокого напряжения 120 и с числом на обмотке низкого напряжения 20 витков. Каждая обмотка содержит отпайки для искусственного создания дефектов и подключения к ним, приборов диагностики.

Схема эксперимента при использовании FRAX-150 приведена на рис. 1. К диагностируемому трансформатору к одной из обмоток от FRAX-150 по двум коаксиальным кабелям типа РК-50-3 длиной 7 м подводятся диагностирующие сигналы, с одной из других обмоток трансформатора снимается сигнал-отклик посредством коаксиального кабеля типа РК-50-3 длиной 7 м. АЧХ регистрируется FRAX-150 и может быть сохранена в цифровом виде для последующей визуализации и обработки в специальной программе "PDDP" (" Program of digital data processing") [3]. Форма амплитудно-частотной характеристики при подаче сигнала на обмотку «А» и регистрации с обмотки «а» приведена на рис. 2.

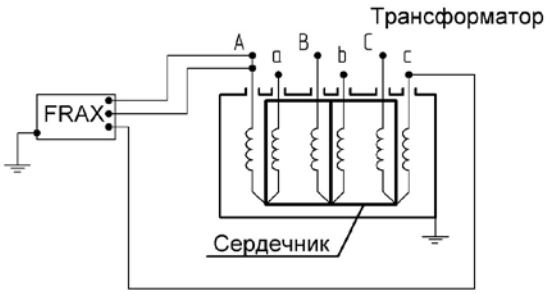


Рис. 1. Схема эксперимента с FRAX-150

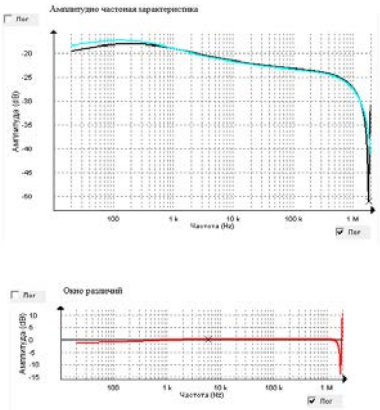


Рис.2. Характеристики, полученные с помощью FRAX-150: амплитудно-частотная характеристика черного цвета – обмотки без дефектов, кривая синего цвета – высоковольтная обмотка с дефектом (замкнуты 24 витка)

Схема эксперимента при использовании метода наносекундных импульсов приведена на рис. 3. Зондирующий импульс от генератора "Нанотест-1" подается на одну из обмоток трансформатора кабелем типа РК-50-3 длиной 7 м. С этой же точки от обмотки другим кабелем РК-50-3 сигнал передается на второй канал осциллографа №1. Сигнал-

отклик с низковольтной обмотки трансформатора подается на другой осциллограф кабелем РК-50-3. Для контроля качества подаваемого импульса на канал №1 осциллографа №1 заводится контрольный импульс от генератора. Форма сигнала на обмотке "А" приведена на рис. 4, сигнал-отклик с обмотки "а" приведен на рис. 5. Для сравнения степени отличия сигналов-откликов при разных состояний обмоток применялась специальная программа "PDDP" [3].

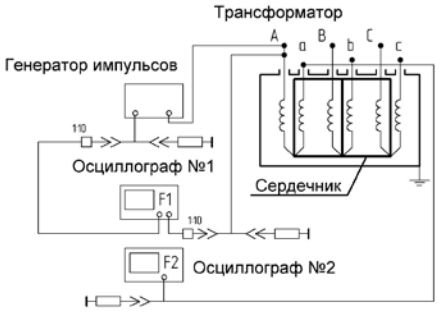


Рис. 3. Схема эксперимента с «Нанотест-1»

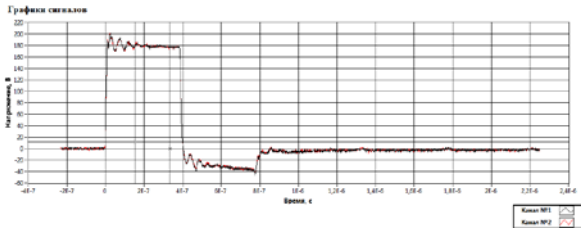


Рис.4 Форма зондирующего сигнала

Для сравнительной оценки чувствительности двух методов диагностики на обмотках смоделированы замыкания между 24, 12 и 6 витками. Для примера, на рисунках 4 и 5 приведены результаты анализа откликов, без дефекта и с замыканием на 24 витка.

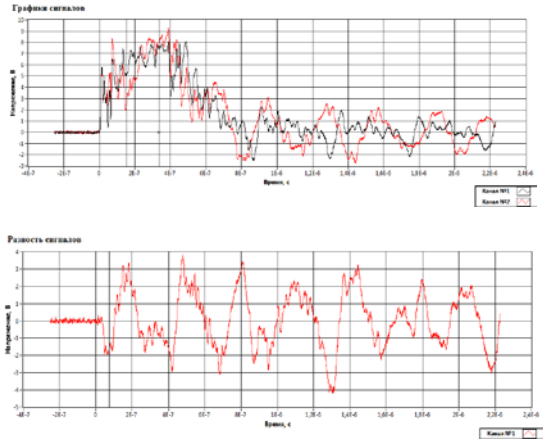


Рис. 5 Характеристики, полученные методом наносекундных импульсов

Где, кривая характеристика черного цвета, является кривой трансформатора без дефектов, кривая красного цвета – сигнал отклика с замыканием между 24 витками обмотки высокого напряжения.

В таблице 1 в относительных единицах приведены результаты сравнения чувствительности методом наносекундных импульсов при подаче зондирующего импульса на обмотку фазы "А" и регистрации сигнала-отклика на обмотке "а".

Таблица 1. Чувствительность метода наносекундных импульсов

Опыт	«Нанотест-1»			
Единицы измерения	отн. ед.	отн. ед.	отн. ед.	отн. ед.
Состояние обмоток	Без дефекта	Замкнуты витки		
		24	12	6
«А-а»	0,08	0,34	0,31	0,24

Аналогичные результаты для экспериментов с FRAX-150 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Чувствительность метода АЧХ

Опыт	«FRAX-150»			
Единицы измерения	отн. ед.	отн. ед.	отн. ед.	отн. ед.
Состояние обмоток	Без дефекта	Замкнуты витки		
		24	12	6
«А-а»	0	0,21	0,11	0,06

Вывод

Проведенные исследования показывают, что методом наносекундных импульсов с применением генератора "Нанотест-1" достигается более высокая чувствительность к межвитковым замыканиям, по сравнению с прибором «FRAX-150».

Литература

1.Хренников. А.В. Методы диагностики механического состояния обмоток, журнал «Новости электротехники» №3(57), 2009 год.

2. Lavrinovich V.A., Isaev Y.N., Mytnikov A.V. Advanced Control State Technology of Transformer Windings. – International Journal on "Technical and Physical Problems of Electrical Engineering", Published by International Organization of IO TPE. December 2013, Issue 17, Volume 5, Number 4, Pages 94-98.

3. http://www.electropergam.ru/search.html.

3. Лавринович А.В., Васильева О.В. Цифровая обработка осциллограмм по результатам диагностики силового трансформатора в среде LabView, журнал «Современные проблемы науки и образования» №6, 2013 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сташков И. А.
Научный руководитель: В. П. Довгун, д.т.н., профессор
Красноярский институт железнодорожного транспорта
(филиал Иркутского Государственного университета путей сообщения)
E-mail: ivanstashkov33@gmail.com

На электрифицированных железных дорогах используется система тягового электроснабжения (СТЭ) однофазного переменного тока напряжением 25 кВ. Тяговые подстанции (ТП) присоединяются к питающей сети на расстоянии 40-60 км друг от друга. На локомотивах установлены двигатели постоянного тока, получающие питание от однофазных схем выпрямления. Средняя мощность тяговой нагрузки составляет 4 – 8 МВт, максимальная – 15-20 МВт [1]. Из-за нелинейных нагрузок СТЭ серьезной проблемой является несинусоидальность токов, потребляемых однофазными выпрямителями. Они вызывают искажения напряжения на токоприемниках электроподвижного состава (ЭПС). В свою очередь, следствием искажений напряжения являются гармонические перенапряжения, низкая величина среднего напряжения.

В докладе проведен анализ качества электроэнергии в сетях тягового электроснабжения, рассмотрены основные факторы, влияющие на характеристики СТЭ и функционирование электроподвижного состава.

Модель СТЭ. При построении модели система тягового электроснабжения разбивается на участки длиной 10 км, представленные П-образной схемой замещения (рис. 1).

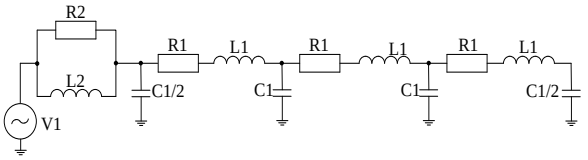


Рис. 1. П-образная схема замещения СТЭ.

Параметры участка СТЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1- Параметры схемы замещения СТЭ.

R_0, Ом/км	L_0, Гн/км	C_0, мкФ/км	L_2, Гн
0,124	0,955	0,029	27

Моделирование показало, что разбиение на участки длиной 10 км обеспечивает удовлетворительное совпадение с экспериментальными результатами, приведенными в работах [2, 3]. Разбиение на участки меньшей длины усложняет схему замещения и увеличивает расчетное время, однако не приводит к заметному увеличению точности моделирования.

Для моделирования частотных и временных характеристик СТЭ использовалась программа схемотехнического моделирования PSPICE.

Анализ частотных характеристик системы тягового электроснабжения. Результаты измерений, показывают, что в спектрах токов преобладают 3, 5 и 7 гармоники. Спектры несинусоидальных токов и напряжений подвержены непрерывным изменениям в связи с числом и взаимным расположение локомотивов, режимов их работы и т.д. С увеличением тяговых нагрузок гармонические искажения тока увеличиваются.

На рис. 2 приведены графики частотных характеристик модуля входного сопротивления сети, когда длина линии составляет 30 и 40 км.

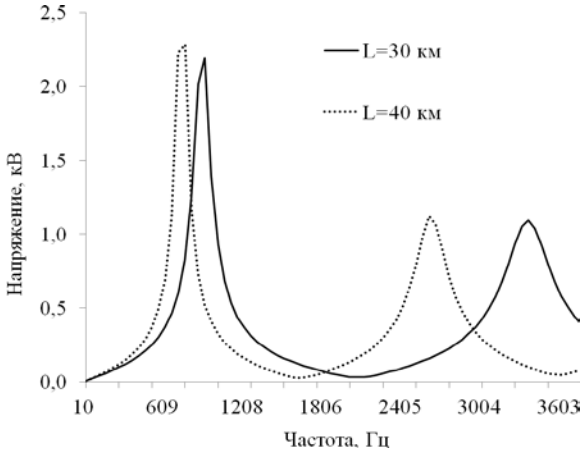


Рис. 2. Графики частотных характеристик

Как следует из рис. 2, частотная характеристика имеет резонансные максимумы, расположение и амплитуда которых зависят от нескольких факторов:

- протяженность и схема питания участка сети;
- мощность тяговых трансформаторов;
- расположение локомотива в зоне питания;
- наличие фильтрокомпенсирующих устройств.

Частота резонансного максимума уменьшается с ростом протяженности участка. Значение $Z_{вх}$ зависит от длины линии, расположения локомотива и составляет 2-2.5 кОм. Наибольшее значение сопротивление имеет в случае, когда локомотив находится в конце участка.

Резонансные перенапряжения. В работе [2] отмечается, что одной из причин аварий в системах тягового электроснабжения являются резонансные (режимные) перенапряжения на токоприемнике ЭПС. Они обусловлены

резонансными явлениями на частотах, определяемых параметрами СТЭ. При движении ЭПС частотные характеристики сети изменяются. Если частота гармоники совпадает с частотой резонанса СТЭ, происходит усиление амплитуды этой гармоники. Это вызывает значительные искажения кривой напряжения.

На рис. 3 показана кривая напряжения на токоприемнике электровоза, находящегося в конце участка длиной 30 км.

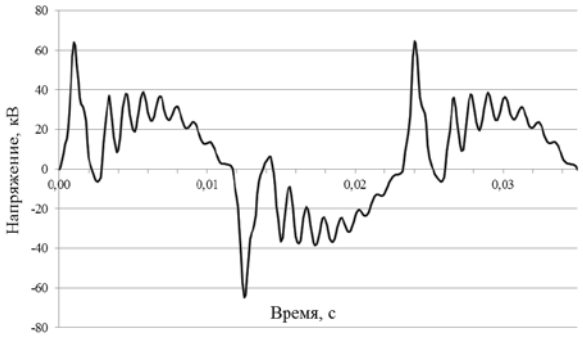


Рис. 3. Кривая напряжения на токоприемнике

Искаженная кривая напряжения на токоприемнике ЭПС представляет наложение синусоидальной кривой с частотой 50 Гц и осциллирующего высокочастотного напряжения. Резонансные перенапряжения могут в несколько раз превышать амплитуду рабочего синусоидального напряжения. Особенно сильные искажения напряжения наблюдаются на токоприемниках электровозов, удаленных от ТП на большое расстояние. Резонансные перенапряжения сопровождаются импульсными провалами напряжения, что может вызвать сбои в работе систем управления тиристорными преобразователями.

Спектр напряжения на токоприемнике ЭПС показан на рис. 4.

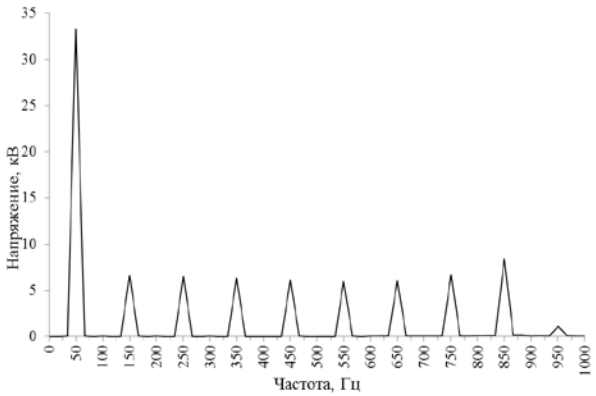


Рис. 4. Спектр напряжения на токоприемнике

В спектре напряжения преобладающими являются низкочастотные гармоники, а также гармоники, частоты которых близки к частоте резонансного максимума. Искажение формы напряжения на токоприемнике сопровождается уменьшением среднего значения напряжения. Это приводит к уменьшению величины выпрямленного напряжения.

Мероприятия по улучшению качества электрической энергии в системах тягового электроснабжения. Проведенный анализ показал, что искажения синусоидальной формы кривых токов и напряжений отрицательно влияют на характеристики СТЭ и функционирование ЭПС. Для ограничения последствий ухудшения качества электрической энергии необходимо проведение комплекса мероприятий. В СТЭ наибольший эффект дает использование активных и пассивных фильтров гармоник. Пассивный фильтр гармоник (ПФГ) представляет собой параллельное соединение колебательных контуров, настроенных на частоты отдельных гармоник. Установка таких фильтров вблизи нелинейной нагрузки обеспечивает замыкание на землю токов высших гармоник через соответствующий колебательный контур. Благодаря своей простоте ПФГ являются в настоящее время основным видом фильтрокомпенсирующих устройств. Недостаток пассивных фильтров заключается в возникновении резонанса токов в параллельном колебательном контуре, образуемом фильтром и индуктивностью питающей сети. Это может привести к усилению гармоники, частота которой близка к частоте параллельного резонанса системы фильтр-питающая сеть.

В последнее время значительный интерес проявляется к активным фильтрам гармоник (АФГ). Они представляют собой коммутируемые устройства, которые выполняют одновременно несколько функций: подавление высших гармоник, коррекцию коэффициента мощности, снижение фликкера. Недостатком АФГ является высокая стоимость, необходимость квалифицированного обслуживания. Значительный прогресс, достигнутый в последние годы в совершенствовании характеристик силовых полупроводниковых приборов, делает в ряде случаев АФГ конкурентоспособными с ПФГ. АФГ являются новыми и значительно более сложными устройствами. Поэтому многие вопросы теории и практики применения этих устройств еще не решены.

Литература

1. Макашева С. И. Мониторинг качества электрической энергии в системах тягового электроснабжения переменного тока. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 104 с.

2. Кучумов В. А., Ермоленко Д. В., Показатели качества электроэнергии на токоприемнике и взаимодействие ЭПС с системой тягового электроснабжения переменного тока – Вестник ВНИИЖТ. 1997, № 2. С. 11-16.

3. Morrison R. E. Power quality issues on AC traction systems. – Conf. rec. 9th international conf. Harmonics and quality of power, 2000, pp. 709-714.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ

Степанов К.И.
Научный руководитель: Ивашутенко А.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, Энергетический институт
E-mail: Stepanov.k.i@mail.ru

В современном мире, как никогда, чувствуется острая необходимость в использовании большого количества электроэнергии. Существует два способа решения этого вопроса: непосредственно увеличение количества генерирующих мощностей за счет строительства новых электростанций, либо переход на сверхпроводящие модули [1]. Оба способа имеют место быть, но, все же, наиболее перспективным является второй путь, однако он упирается в проблему создания комнатнотемпературных сверхпроводников. Решением этого вопроса занимаются во многих научно-производственных коллективах, в том числе и в лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) ЭНИН ТПУ. В лаборатории ВТСП развивается новый подход, связанный с применением высокоинтенсивных воздействий (разрядная плазма, магнитно-импульсное прессование, диспергирование порошков). Главная задача лаборатории: разработка технологии синтезирования материала, способного проявлять свои сверхпроводящие свойства в нормальных условиях. В связи со сказанным, главная задача работы состоит в разработке такой технологии синтезирования материала, которая позволит получать продукт, обладающий сверхпроводящими свойствами при пониженных температурах [2]. Наиболее перспективными в этом направлении можно считать иттрий-бариевые купраты.

В данной работе разрабатывается способ плазмодинамического синтеза шихты для высокотемпературных сверхпроводников с использованием коаксиального магнитоплазменного ускорителя профессора Сивкова [3]. Суть метода состоит в следующем: исходные компоненты шихты (гидроксид бария ($Ba(OH)_2$), азотно-кислый иттрий ($Y(NO_3)_3$)) загружаются в ускоритель, где зажигается разряд, формирующий плазменный пучок. Оксид меди (CuO) получается в результате электрического взрыва медных проводничков, а так же в процессе эрозии чистой меди со стенок медного ствола, которая и окисляется до оксида. При движении плазмы, указанные частицы диспергируют, соударяясь со стенками камеры. Необходимый состав шихты и размеры частиц подбираются при сепарации полученного порошка.

Установка представлена в виде цилиндрической трубы (рисунок 1), разделенной на две камеры: регистрирующую и рабочую. В регистрирующей камере имеется технологическое отверстие – окошко, через которое, при помощи сверхвысокочастотной камеры Photron FASTCAM SA1.1 проводится регистрация процессов, протекающих внутри установки.

Рис. 1. Система плазмодинамического синтеза

Главным элементом конструкции является коаксиальный ускоритель, который крепится на фланце регистрирующей камеры. Ускоритель состоит из: медной трубки – ствола, внутри которого находятся центральный электрод с изолятором, а также исходные порошки, являющиеся прекурсорами шихты. Сам ствол вворачивается в соленоид (индуктор).

Работа установки заключается в следующем: при замыкании цепи импульсный ток протекает через центральный электрод. При достижении нарастающим током i(t) некоторого уровня, плавкая медная перемычка взрывается, с образованием сильноточного дугового разряда (начальная плазма). Затем плазма сильноточного разряда сжимается магнитным полем индуктора, принимая вытянутую форму. Частички иттрия и бария, загруженные в ствол, а так же продукты эрозии, переходят в ионное состояние и вовлекаются в движение плазмы. Конечный продукт реакции под давлением выбрасывается в регистрирующую, а затем и в рабочую камеры (рисунок 2).

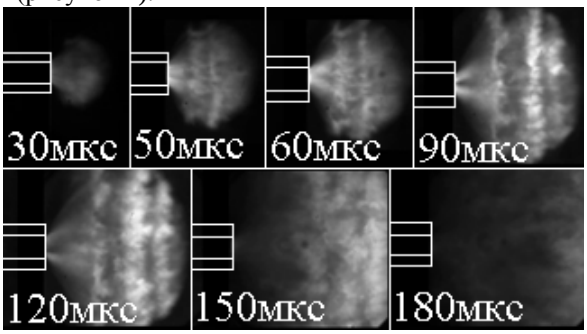


Рис. 2. Фотограмма вылета плазмы

На рисунке представлена динамика движения плазмы непосредственно в камере установки, наполненной воздухом. Плазма содержит частицы

прикурсоров, меди и оксида меди. Частицы ускоряются в потоке плазмы. При взаимодействии порошинок оксидов со стенками камер идет интенсивное диспергирование частиц, которому способствует высокая температура, приводящая к более интенсивному разрушению крупных частиц. При достижении плазмой задней стенки камеры, возникает отраженная волна, обеспечивающая большее высокую однородность порошка. Длительность рабочего процесса составляет около 500 мкс. Дисперсность оксидных порошинок определялась с помощью электронной микроскопии на просвет. Получен средний размер частиц около 200 нм.

Анализ полученных фаз и структуры синтезированного порошка проводился на рентгеновском дифрактометре XRD Shimadzu 7000S (CuKα–излучение). Результат анализа представлен на рисунке 3.

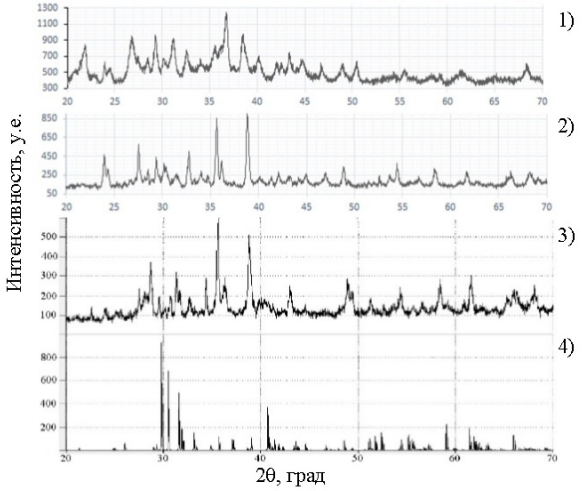


Рис. 3. Дифрактограммы синтезируемого порошка и керамики

Первый снимок – дифрактограмма, на которой видны рефлексы от исходных компонентов шихты и от частиц меди. Второй снимок – дифрактограмма порошка после отжига при температуре 850°С, с последующей выдержкой в течение часа. Такая обработка необходима для разложения сложных соединений бария и иттрия. В результате наблюдаются следующие эффекты: вместо рефлекса от гидроксида бария, появляется рефлекс оксида бария. Третий снимок – дифрактограмма готовой керамики, предварительно сформованной на двухстороннем магнитно–импульсном прессе [4] и спеченной при температуре 960°С в течение шести часов с контролируемым охлаждением 100 °С/ч. Полученный снимок аналогичен эталонным данным для тетрофазы иттрий-бариевых купратов (снимок 4), но сопоставлять полученную дифрактограмму с каким-то определенным эталоном было бы не верно, т.к. представленная в программе Search-Match база весьма широка и разнообразна. Так же можно добавить, что наш снимок имеет расхождения по интенсивности рефлексов. Это результат того, что технология находится на стадии разработки, только подбираются оптимальные режимы.

Помимо этого, в конечном продукте присутствует некоторое количество инородных примесей, что в итоге приводит к увеличению температурного интервала перехода образца в сверхпроводящее состояние [5]. Стоит отметить, что с приближением температуры к абсолютному нулю, сопротивление образца будет «стремиться» к остаточному сопротивлению, которое, в свою очередь, зависит от состава исходных прекурсоров и совершенства конечного продукта.

Принимая во внимание все вышесказанное, во второй серии экспериментов, был проведен отжиг нитрата иттрия с контролируемым повышением температуры (не более 4°С/мин) до 420°С, с последующей выдержкой в течении 40 минут. В результате термической обработки был получен чистый оксид Y_2O_3. Таким образом были получены исходные прекурсоры шихты, не содержащие примесей.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Полученная керамика имеет нанокристаллическую структуру, что в конечном итоге может существенно повлиять на температуру перехода образца в сверхпроводящее состояние.
2. Быстротечный одностадийный процесс синтеза порошковой шихты, длительность которого составляет не более 500 мкс.
3. Изготовленная керамика характеризуется кристаллическими фазами, характерными для эталонных фаз иттрий-бариевых купратов.
4. Для уменьшения температурного интервала перехода и снижения остаточного сопротивления сверхпроводника, необходимо производить предварительный отжиг исходных компонентов, для устранения «паразитных» примесей.

В работе показана возможность синтеза материала и изготовление керамических высокотемпературных сверхпроводников на основе иттрий бариевых купратов с использованием высокоинтенсивных технологий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М: ЁЁ Медиа, 280 стр., 2012.
2. Гинзбург В.Л. Нобелевские лекции по физике – 2003, Стокгольм, 8 декабря 2003.
3. Пат. 2243474 РФ. 7F41B 6/00. Коаксиальный ускоритель / Д.Ю. Герасимов, А.А. Сивков. Приор. 31.07.2003. Опубликовано 27.12.2004, Бюл. №36.
4. Ивашутенко А.С. Корундо-циркониевая нанокерамика, полученная с использованием высокоинтенсивных потоков энергии. Диссертация кандидата технических наук. 2010.
5. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. Альфа-М, 2006.

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Стругов В.В., Антипов С.А.
Научный руководитель: Лавринович В.А., к.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sv_altai@sibmail.com

Практически в любом высоковольтном оборудовании в рабочих режимах существуют частичных разрядов, однако их разрушающая способность может быть различна. Наличие дефектов в изоляции на основе полимерных материалов может приводить к возникновению частичных разрядов. Существенными факторами, определяющими эрозию диэлектрика под действием частичных разрядов, являются бомбардировка их поверхности заряженными частицами из плазмы газового разряда, химическое взаимодействие с продуктами, образующимися в разряде, а также ультрафиолетовое облучение. Роль отдельных факторов действия разряда для разных полимеров может быть различной[1].

Частичные разряды в изоляции возникают в местах с пониженной электрической прочностью, в дальнейшем будет называться «включением» (например, в прослойках пропитывающей жидкости или в газовых включениях в толще диэлектрика).

При рассмотрении частичных разрядов эквивалентная схема диэлектрика емкостью C_x может быть представлена тремя емкостями на рисунке 1: $C_в$ —емкостью элемента диэлектрика, участвующего в ч. р. (емкость включения); $C_д$ — емкостью элемента диэлектрика, включенного последовательно с первым; C_a — емкостью остальной части диэлектрика, лишенной включений. При этом

$$C_x = C_a + \frac{C_B C_Д}{C_B + C_Д}.$$

Возникновение частичных разрядов происходит, когда напряжение на включении достигнет пробивного значения напряжения зажигания разряда во включении.

Соотношение между напряженностью во включении и средней напряженностью будет зависеть от соотношения между толщинами диэлектрика и включения. Если ввести обозначения: $d_Д$ — толщина диэлектрика, расположенного последовательно с включением; d_B — толщина включения; U — напряжение на электродах образца, то для эквивалентной схемы на рисунке 1 имеем

$$E_B = \frac{UC_Д}{d_B(C_Д + C_B)} = \frac{U\varepsilon_Д / d_Д}{d_B\left(\frac{\varepsilon_Д}{d_Д} + \frac{\varepsilon_B}{d_B}\right)} = \frac{U\varepsilon_Д}{\varepsilon_B d_Д + \varepsilon_Д d_B}$$

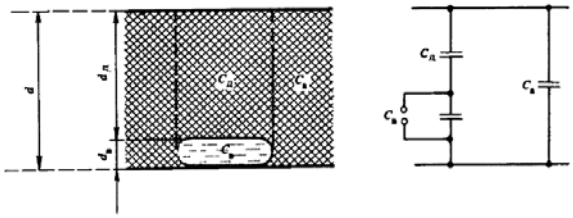


Рис. 1. Эквивалентная схема при рассмотрении частичных разрядов в диэлектрике

и отношение E_B к средней напряженности E_{CP} равно:

$$\frac{E_B}{E_{CP}} = \frac{1 + d_B / d_Д}{(\varepsilon_B / \varepsilon_Д) + (d_B / d_Д)}$$ [2].

На рисунке 2 приведена блочная схема модели для обнаружения частичных разрядов, состоящая из: 1 высоковольтный источник постоянного тока, 2 высоковольтный конденсатор, 3 коммутационный ключ, 4 испытуемый объект, 5 датчик и 6 осциллограф. В качестве испытуемого объекта применялось орк стекло с искусственным дефектом. В качестве датчика использовано мало индуктивное сопротивление номиналом 1 Ом. Используется силовой конденсатор марки ИК100-01. Осциллограф Tektronix типа TDC–2012 с полосой 100МГц. Осциллограф подключается к датчику через высоковольтный кабель РК-50-9-11 и делитель напряжения: High Voltage Probes PPE6KV - 1000:1 400 MHz 5 MOhms/50 MOhms

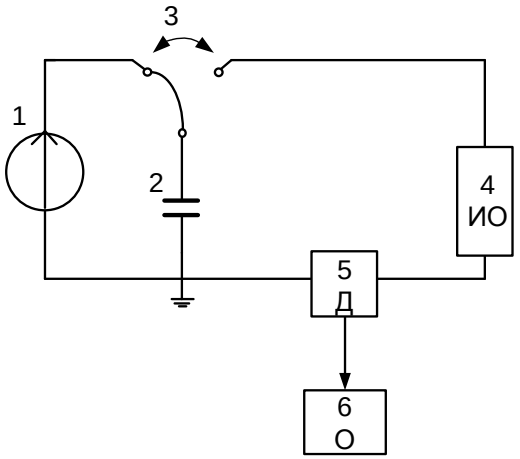


Рис.2. Блочная схема модели

Принцип работы модели: высоковольтным источником постоянного тока, через первое положение коммутационного ключа, заряжаем высоковольтный конденсатор. Далее переключаем коммутационный ключ во второе положение, тем самым подовая на испытуемый объект импульсное напряжение постоянного тока.

На рисунках 3 и 4 приведены осциллограммы при различном импульсном напряжении. Как

видно из осциллограмм при увеличении уровня напряжения при заряде конденсатора, пропадают пиковые всплески и величина максимального напряжения уменьшается с десятков вольт до единиц. Это связанно с тем, что частичный разряд расходует часть энергии, и тем самым поглощая всплески.

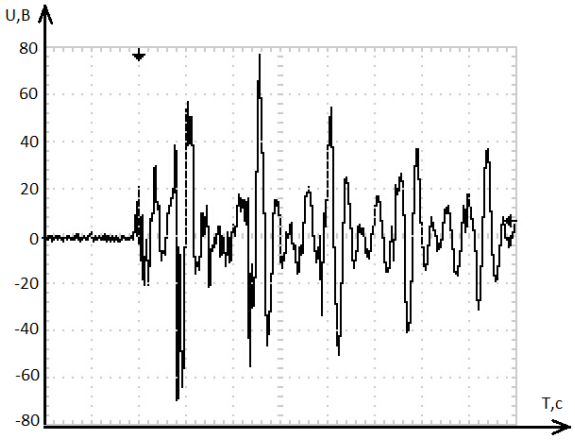


Рис.3. Переходная характеристика при 6 кВ

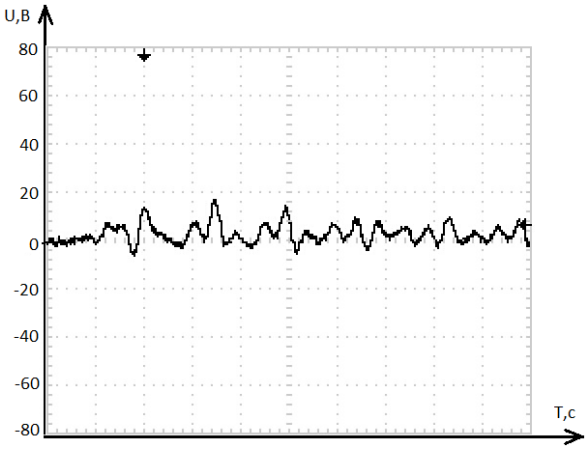


Рис.4. Переходная характеристика при 9 кВ

После ряда повторений эксперимента на напряжении в 9 кВ и дальнейшем увеличении напряжения характеристика, снимаемая с осциллографа, вида изменилась, приняла вид рисунок 5. В дальнейшем при проведении эксперимента на напряжении 9 кВ характеристика не повторялась как на рисунке 4. Это связанно с тем, что после появления частичных разрядов в искусственном дефекте появилось науглероживание на поверхности дефекта. Условно дефект представляется емкостью, после науглероживание является шунтом. При сравнении характеристик на рисунках с 3 по 5 можно сделать вывод, что после появления частичных разрядов появилось науглероживание, которое частично зашунтировало дефект, и поэтому на рисунке 5 колебание немного больше чем на рисунке 4.

Рис.5. Переходная характеристика при 11 кВ

На рисунка 6 и 7 приведены фотографии дефектов до и после экспериментов соответственно. До экспериментов наглядно видно, что дефект прозрачный, а после эксперимента появилось науглероживание, и дефект помутнел.

Рис.6. Искусственный дефект до эксперимента

Рис.7. Искусственный дефект после Эксперимента

Список литературы

1. Галичин Н. А.Борисова М. Э. Известия РГПУ им. А.И. Герцена. Физика. -2009. -№79
2. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях.–Л.: Энергия. Ленингр.отд-ние, 1979.–224с., ил.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ГКС «САХАЛИН»

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

На сегодняшний день в нефтегазовой промышленности большое распространение получили автономные электрические станции. Целесообразность их использования заключается в том, что развитие нефтегазотранспортной системы страны опережает развитие магистральных электрических сетей, и зачастую существуют такие места, где подключение к высоковольтным сетям не представляется возможным, ввиду их отсутствия.

В качестве примера можно привести такие объекты как нефтепровод Восточная Сибирь – Тихий океан и газопровод Сахалин – Хабаровск – Владивосток. В настоящее время ведется строительство магистрального газопровода Сила Сибири (Якутия – Дальний Восток), который будет проходить по районам, где отсутствуют магистральные электрические сети, а значит, количество автономных электростанций в газовой промышленности будет только увеличиваться.

К недостаткам автономного электроснабжения можно отнести невозможность обеспечить электроснабжение потребителей, при выходе из строя всего генерирующего оборудования, а также частые коммутации генерирующего оборудования.

Согласно нормативной документации нефтегазовых организаций, и в частности ОАО Газпром, такие объекты как Головная компрессорная станция (ГКС) «Сахалин» должны иметь два независимых взаиморезервируемых источника электроэнергии [1, 2], а также отвечать всем требованиям ГОСТов по качеству и бесперебойности электроснабжения [4].

Целью работы является разработка технических решений по обеспечению бесперебойного электроснабжения от автономных электрических станций на примере ГКС «Сахалин». Для этого необходимо произвести теоретические и практические исследования автономной энергосистемы ГКС «Сахалин», разработать схемы электроснабжения для повышения надежности работы электростанций собственных нужд (ЭСН) и применить полученные результаты при проектировании и строительстве новых автономных энергосистем и внесении изменений в нормативную документацию ОАО «Газпром» по электростанциям собственных нужд нового поколения.

В качестве объекта исследования была определена автономная энергосистема ГКС «Сахалин», которая в свою очередь является уникальным объектом проекта «Сахалин – 3». Проект «Сахалин – 3» является основной ресурсной базой для газотранспортной системы «Сахалин – Хабаровск – Владивосток» и позволит обеспечить газоснабжение регионов Дальнего Востока и реализацию проекта «Владивосток-СПГ» [5]. Задачей станции является транспортировка газа с острова Сахалин через Хабаровск до Владивостока. На сегодняшний день это единственная станция, которая обеспечивает транспорт газа по данному газопроводу, а значит, проблема обеспечения бесперебойного электроснабжения данного объекта очень актуальна.

На сегодняшний день электроснабжение ГКС «Сахалин» осуществляют четыре ЭСН типа Звезда-ГП-1100ВК-02М3-0211 мощностью 1100 кВт, каждая [6]. ЭСН оснащены газопоршневыми двигателями Cummins и генераторами Stamford. Электростанции осуществляют питание семи трансформаторных подстанций мощностью от 100 до 1600 кВА из закрытого распределительного устройства (ЗРУ) – 10 кВ. Самая мощная трансформаторная подстанция – 2х1600 кВА, осуществляет питание двух газотурбинных газоперекачивающих агрегатов ГПА-16М-10, мощностью 16 МВт каждый [7]. Управление электроснабжением и генерацией осуществляется дистанционно, с автоматизированного рабочего места. Все эти объекты образуют сложную автономную энергосистему.

Проведя детальный анализ работы автономной энергосистемы, выяснилось, что по проекту система работает таким образом, что выработка электроэнергии осуществляется на одну общую шину ЗРУ, образуя один источник электроснабжения. В то же время при аварийном отключении одного из генераторов автоматика отключает всех потребителей, что приводит к потере электроснабжения от основного источника. Возобновление электроснабжения возможно только при ручном последовательном включении потребителей, что занимает очень много времени. А перерывы в электроснабжении, пусть даже не очень значительные по времени, могут нарушить сложный технологический процесс транспортировки энергоносителя.

В ходе эксплуатации ЭСН ГКС «Сахалин» участились случаи остановов генераторов при их параллельной работе, что в свою очередь приводит к потере электроснабжения всей автономной энергосистемы и сбоям в работе технологического процесса транспортировки газа на материк.

Причины остановов различны, это не полностью проработанные проектные решения, ошибки монтажа и пуско-наладки.

В настоящее время устранены причины остановов, но проектная схема работы все равно не позволяет бесперебойно обеспечивать потребителей электроэнергией.

Для проведения анализа устойчивости на первом этапе работы была детально изучена автономная энергосистема и произведен расчет ее статической и динамической устойчивости.

Для проведения практической части работы была составлена программа оценки запаса устойчивости автономной энергосистемы. Исследования проводились следующим образом: в работе находились по одному генератору на каждой секции с включенным секционным выключателем, как показано на схеме. Затем было произведено отключение секционного выключателя, и автономная энергосистема получила два независимых взаимно резервируемых источника электроэнергии. После этого был произведен аварийный останов ЭСН №1, и нагрузка ступенчато перешла на оставшийся в работе агрегат по напряжению 0.4 кВ с кратковременной потерей питания.

Такая сложная схема подразумевает нетрадиционный способ включения резерва и сделано это для того чтобы на оставшийся в работе генератор не действовали такие факторы как бросок тока при включении АВР на стороне 10 кВ, что может привести к останову генератора и потере электроснабжения всей станции.

Далее была запущена резервная ЭСН №3, и после ее включения в сеть, нагрузка точно так же, ступенчато, перешла на вновь введенную в работу генераторную установку. И схема приняла первоначальный вид с двумя независимыми источниками.

Данные опыты проводились для всех генераторов поэтапно, чтобы полностью проверить устойчивость работы всей энергосистемы.

Такая нестандартная схема обеспечивает плавный переход потребителей на оставшуюся в работе электростанцию, это сделано для того чтобы генератор не получал всю нагрузку целиком, а поэтапно, согласно рассчитанным временам автоматического включения резерва. Разработанная схема работы обеспечит бесперебойное электроснабжение потребителей и ее можно применять во время работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА), обеспечивая станцию дополнительным, независимым, взаиморезервируемым источником электроэнергии.

Предлагаемые изменения схемы электроснабжения потребителей ГКС Сахалин позволили повысить запас устойчивости работы автономной энергосистемы и увеличить показатели надежности электроснабжения с применением двух независимых взаимно резервируемых источников энергии.

По полученным результатам работы были сформированы предложения основных технических решений и требований, внесенные в разработку стандарта ОАО «Газпром» «Применение электростанций собственных нужд нового поколения с поршневым и газотурбинным приводом» [3].

В данный момент проводятся теоретические исследования автономных энергосистем объектов газотранспортной системы «Сила Сибири», для того чтобы еще на проектной стадии выявить и решить проблемы надежности и устойчивости автономных энергосистем, для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

Результаты работы показывают необходимость проведения научно – исследовательских работ на этапе проектирования путем использования компьютерных моделей построения автономных энергосистем для расчета различных режимов работы с учетом их индивидуальных особенностей. Это обеспечит бесперебойную и безаварийную работы автономных энергосистем на производственных объектах, которые являются ответственными потребителями.

Литература.

1. Категорийность электроприемников ОАО «Газпром». СТО Газпром 2-6.2-149-2007. Газпром ВНИИГАЗ, Москва, 2007. – 26 с.

2. Выбор схем электроснабжения автономных объектов от элеткростанций собсвенных нужд. СТО Газпром 2-6.2-208-2008. Газпром ВНИИГАЗ, Москва, 2008. – 35 с.

3. Применение электростанций собственных нужд нового поколения с поршневым и газотурбинным приводом, СТО Газпром проект СТО Газпром 2-6.2-XXX-2013, Газпром ВНИИГАЗ, Москва, 2013. – 61 с.

4. ГОСТО 13109-97, Качество электрической энергии. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Москва, 1997. – 57 с.

5. Проект «Сахалин – 3» [Электронный ресурс] – Электрон. Дан (1 файл). – [2014]. – Режим доступа http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/sakhalin3/, свободный. – Загл. с экрана.

6. Проект Электростанции Звезда-ГП-1100ВК-02М3-0211. 082.ЭВЭН.000.000.000. – ОАО «Звезда-Энергетика». Санкт-Петербург. – 2010 г.

7. Проект Магистрального газопровода Сахалин – Хабаровск – Владивосток. ГКС «Сахалин». 4400/11-ГКС-0. – Гипрогазцентр. Дзержинск. – 2010 г.

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ

Халдаров Ш.К.
Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630087, Россия, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 138
E-mail: haldaroff@mail.ru

В работе предлагается одно из решений задач системы управления ветроэнергетической установки (ВЭУ), которое позволит выявить основные отличия ВЭУ от традиционных генераторов с позиции систем генерирования мощности и используемого энергоресурса, обеспечения надлежащего качества электрической энергии, оценки различных методик выработки мощности с требуемыми параметрами.

В систему управления современных ВЭУ входит весь комплекс задач для обеспечения адекватной работы от пуска до полного останова. Электрическими схемами предусматривается. Что полное управление станциями позволяет осуществлять такие операции, как пуск агрегатов, синхронизацию генераторов и включение их в сеть на параллельную работу, принятие агрегатами нагрузки, регулирование частоты вращения момента на ветроколесе, предотвращение перехода генератора в двигательный режим при отсутствии ветра или при чрезмерном снижении его скорости и ряд других операций.

Системы управления ВЭУ большой мощности имеют высокую точность регулирования по сравнению с аэродинамическим регулированием. Основным минусом является высокая стоимость и необходимость применения дополнительных приводных механизмов регулирования.

В настоящее время в классических регуляторах используются пропорциональное интегрально-дифференциальное (ПИД), оптимальное, нелинейное и адаптивное управление. Эти системы управления требуют заранее определенных динамических характеристик объекта и их незаменимость от внешних факторов.

В реальной же модели присутствуют технологических разброс параметров объекта, непостоянство характеристик механических элементов, что является причиной погрешности принимаемых решений.

Данная проблема может быть решена при помощи высокоточного автоматического регулирования ветрогенераторов, а так же заменой традиционных регуляторов нечеткими логическими контроллерами (НЛК). Кроме этого, применение регуляторов нечеткого типа позволяет исключить из структуры САУ значительное количество датчиков, что влечет за собою повышение надежности и снижение стоимости установок в целом.

В области автоматизации технологических процессов нечеткие логические регуляторы дают возможность реализовать системы управления с новыми свойствами, которые технически трудно достигнуть при использовании методов классической теории автоматического регулирования. Алгоритм системы нечеткого регулирования мощности ВЭУ состоит из преобразования переменных нечеткого логического регулятора (изменение выходной мощности ΔP0 и последнее изменение скорости ротора LΔωr) в его входные переменные (скорость ротора генератора) с помощью следующих взаимосвязанных процедур:

- преобразование величин четких физических переменных, получаемых от измерительных датчиков параметров ветра, в безмерные лингвистические переменные (фаззификация);
- обработка лингвистических переменных согласно базе правил (анализ правил регулирования);
- преобразование выходных безразмерных переменных нечеткого регулятора в физические управляющие воздействия (дефазификация).

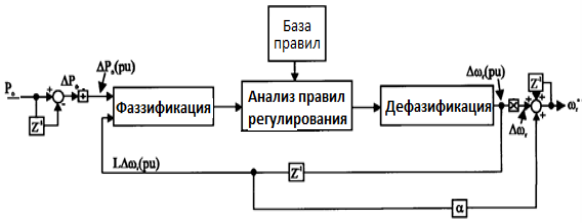


Рис.1. Принципиальная схема НЛК

Точная задача нечеткого контроллера хорошо описана кривыми мощностей (Рис.2). Можно заметить, что есть рабочая точка максимальной мощности для каждой скорости ветра. Основной целью контроллера является запуск генератора ВЭУ в этой рабочей точке.

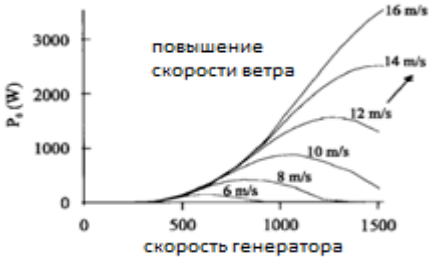


Рис.2. Набор кривых зависимости мощности турбины от скорости генератора при разных скоростях ветра

На рисунке 2 показана зависимость мощности на валу ветроколеса от скорости вращения ветроколеса при разных скоростях ветра. Для получения максимально возможной энергии в течении года ВЭУ должна работать в точке максимума мощности при любых скоростях ветра.Кривые мощностей показывают зависимость мощности энергосистемы P_0 от скорости генератора ω_t при определенной скорости ветра V_ω.

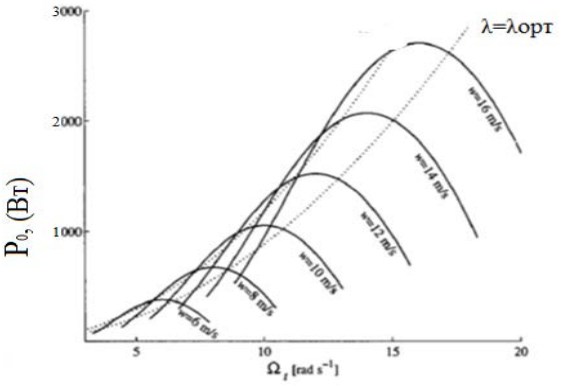


Рис.3. Зависимость коэффициента мощности от быстроходности

Для оптимального нечеткого логического управление асинхронным генератором требуется контроллер, который будет отслеживать скорость ветра в целях достижения λ_{OPT} и таким образом извлекать максимальную мощность (Рис.3.).

Нечеткое управление, которое является одним из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в задачах управления и принятия решений, создана на базе теории нечетких множеств, основные идеи которой были представлены американским ученым Л. Заде (L. Zadeh) в 1965 году. Эта теория позволяет описывать качественные, неточные понятия и наши знания об окружающем мире, а также позволяет оперировать этими знаниями с целью получения новой информации.

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 получи алгоритмы Мамдани, Ларсена, Цукамото, Такаги-Сугено. В общем случае дать сравнительную оценку различных алгоритмов 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. В данном случае выбор алгоритмов для нечеткого вывода каждой выходной переменной обосновывается исходя из нескольких условий:

-робастность;
-быстродействие;
-плавность-жесткость.

Механизма Мамдани (Mamdani). Это наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах. В нем используется минимаксная композиция нечетких множеств. Данный механизм включает в себя следующую последовательность действий:

1. Процедура фазификации: определяются степени истинности, т.е. значения функций принадлежности для левых частей каждого правила (предпосылок). Для базы правил с m правилами обозначим степени истинности как Aik(xk), i=1..m, k=1..n.

2. Нечеткий вывод. Сначала определяются уровни "отсечения" для левой части каждого из правил

$$alfa_i = \min_i(A_{ik}(x_k))$$

Далее находятся "усеченные" функции принадлежности

$$B_i^*(y) = \min_i(alfa_i, B_i(x_k))$$

3. Композиция, или объединение полученных усеченных функций, для чего используется максимальная композиция нечетких множеств

$$MF(y) = \min_i(B_i{}^*(y))$$

где MF(y) – функция принадлежности итогового нечеткого множества.

4. Дефазификация, или приведение к четкости. Существует несколько методов дефазификации. Например, метод среднего центра, или центроидный метод

$$MF(y) = \min_i(B_i{}^*(y))$$

Список литературы

1. Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff S. D., *Modern Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, John Wiley and Sons, New York, 2002

2. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. - СПб.: БВХ-Петербург, 2003. - 736.: ил.*

3. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений.–М.: Мир, 1976*

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИНХРОННОЙ КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Шевцов Д.Е.
Научный руководитель: Павлюченко Д.А., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: dmitriy_shevtsov@mail.ru

Введение

Известно, что коммутации в электрических сетях приводят к возникновению переходного процесса, который представляет собой перераспределение накопленной энергии между индуктивными и емкостными элементами. При этом отключение может сопровождаться повышениями напряжения, опасными для изоляции оборудования, а включение – значительными бросками тока. Подобный переходной процесс не зависит от типа используемого силового аппарата, и определяется только моментом коммутации контактов [1].

Постановка задачи

Использование принципов синхронной коммутации в силовых аппаратах среднего напряжения является новой ступенью мирового развития коммутационной техники. По сравнению с обычной коммутацией она обладает рядом технических и экономических преимуществ, таких как уменьшение бросков тока при включении, снижение опасных коммутационных перенапряжений, снижение отказов оборудования, сокращение количества текущих ремонтов и повышение срока службы коммутационных аппаратов [2,3].

В работе рассмотрены основные принципы синхронной коммутации электрических сетей 6 (10) кВ в зависимости от вида коммутации (включение и отключение) и количества фаз сети (однофазная и трехфазная).

Синхронное отключение

Синхронное отключение осуществляется путем размыкания контактов выключателя в строго определенный момент времени с опережением момента перехода отключаемого тока через ноль. Время горения дуги в этом случае значительно сокращается, так как количество энергии, выделяющейся в дуге, намного уменьшается. Управление моментом размыкания контактов предотвращает отказы работы электрооборудования и снижает негативное воздействие на систему электроснабжения в целом.

В управляемом аппарате необходимо точно подать сигнал на размыкание контактов до момента времени перехода тока через ноль и создать большую скорость движения контактов, чтобы к моменту нулевого значения тока и погасания дуги расстояние между контактами было достаточным для обеспечения необходимой электрической прочности промежутка и исключения возможности повторного зажигания дуги. Точность подачи импульса на отключение определяется синхронизирующим устройством, а большая скорость движения контактов создается специальным приводом.

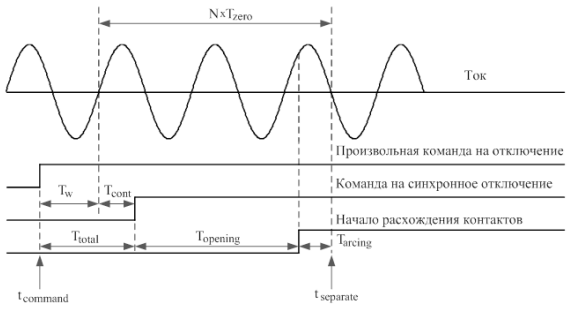


Рис. 1. Принцип синхронного отключения

$$T_{total} = T_w + T_{cont}, \quad (1)$$

$$T_{cont} = N \cdot T_{zeto} - T_{arcing} - T_{opening}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлен принцип синхронного отключения. На устройство синхронизации в любой момент времени $t_{command}$ подается команда на отключение выключателя. Эта команда задерживается на некоторое время T_{total}. Интервал времени T_{total}, в соответствии с (1), представляет собой сумму времени реакции контроллера T_w и преднамеренной задержки времени синхронизации T_{cont}. Интервал времени T_{cont} рассчитывается по (2) относительно момента перехода тока через ноль и зависит от собственного времени отключения выключателя $T_{opening}$ и времени расхождения контактов на расстояние, достаточное для обеспечения электрической прочности промежутка $t_{separate}$.

Точное управление временем $t_{separate}$, которое соответствует моменту времени полного расхождения контактов, фактически определяет время горения дуги T_{arcing}. Собственное время отключения $T_{opening}$ является интервалом времени от момента подачи питания на катушку привода выключателя до момента начала расхождения контактов выключателя. NxT_{zero} – число полупериодов, необходимых для достижения положительного значения T_{cont}, показанного на рис. 1.

Синхронное включение

Синхронное включение представляет собой процесс замыкания контактов выключателя в строго определенный момент времени с опережением момента перехода напряжения источника через ноль. В рабочих режимах включение реактивной нагрузки сопровождается

бросками тока. При этом, чем дальше момент включения от нулевого значения напряжения на разрыве, тем выше броски тока. Управляемое включение выключателя на реактивную нагрузку позволяет существенно уменьшить броски тока.

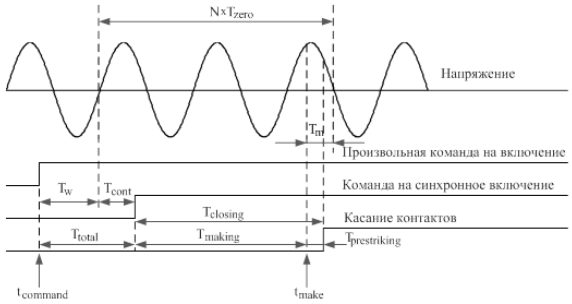


Рис. 2. Принцип синхронного включения

$$T_{total} = T_w + T_{cont}, \quad (3)$$

$$T_{cont} = N \cdot T_{zero} - T_m - \left(T_{closing} - T_{prestriking}\right) = \\ = T_{zero} - T_m - T_{making}. \quad (4)$$

Для осуществления операции управляемого включения устройство синхронизации отслеживает напряжение источника питания. На рис. 2 представлен принцип синхронного включения индуктивной нагрузки. Оптимальным временем включения является пик напряжения при условии, что время предпробоев при включении меньше полупериода. В момент времени $t_{command}$ подается команда на включение. Эта команда задерживается на некоторое время T_{total}, которое является суммой времени реакции контроллера T_w и преднамеренной задержки времени синхронизации T_{cont}.

Контроллер вводит задержку T_{cont} относительно соответствующего перехода напряжения источника через ноль, которая рассчитывается по (4) с учетом времени включения выключателя $T_{closing}$ и времени предпробоев $T_{prestriking}$. Ток начинает течь в момент времени t_{make}. Интервал T_m определяется временем t_{make} и следующим за ним временем перехода напряжения источника через ноль.

Время включения $T_{closing}$ есть интервал времени от момента подачи питания на катушку включения выключателя до момента механического касания контактов. Время предпробоев при включении $T_{prestriking}$ – это интервал времени между моментом начала предпробоев и моментом механического касания контактов. Время T_{making} является промежутком времени от момента подачи питания на катушку включения до момента начала предпробоев t_{make}.

Коммутация трехфазной электрической сети

Рассмотренные выше случаи справедливы для однофазной электрической сети переменного напряжения. В случае трехфазной сети напряжение каждой фазы пересекает ноль в разные моменты времени, поэтому для осуществления переключения сети с минимальными переходными процессами имеются специальные алгоритмы коммутации.

Особенностью электрических сетей среднего напряжения является изолированный или компенсированный режим работы нейтрали. В этом случае необходимо одновременно произвести коммутацию двух фаз и через 90 электрических градусов произвести коммутацию третей фазы. Также возможен вариант коммутации одной фазы при её прохождении через ноль с последующей коммутацией двух оставшихся через задержку в 90 электрических градусов, время которой может быть определено:

$$t_2 = \frac{1}{360 \cdot f} \cdot 90 = \frac{1}{360 \cdot 50} \cdot 90 = 0{,}005c. \quad (5)$$

На рис. 3 представлены временные интервалы чередования коммутации фаз, имеющие место при изолированном режиме нейтрали системы. Это позволяетт создать условия, при которых возможны минимальные уровни перенапряжения.

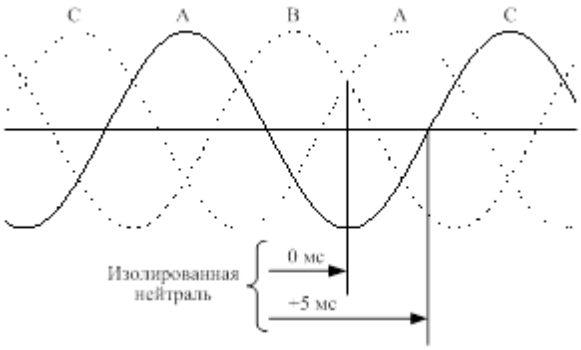


Рис. 3. Временные интервалы чередования коммутации фаз

Заключение

Синхронная коммутация обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционной коммутацией: снижение коммутационных перенапряжений, уменьшение бросков тока.

Основные принципы синхронной коммутации заключаются во включении и отключении электрической сети в строго определенный момент времени.

Список литературы

1. Евдокунин Г.А., Титенков С.С. Перенапряжения в сетях 6(10) кВ создаются при коммутациях как вакуумными, так и элегазовыми выключателями // Новости электротехники. – 2002. – №5(17). – С. 27-29.

2. Лебедев И.А., Прохоренко Е.В. Исследование возможности создания вакуумного выключателя для синхронного отключения ненагруженных трансформаторов // Электро. 2011. №3. С.40-44.

3. CIGRE WG 13.07, Controlled switching of HVAC circuit breakers: planning, specification and tasting of controlled switching systems.//ELECTRA, 2001, No. 197.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Шевченко Е. С., Чернышов М. О.
Научный руководитель Довгун В. П., д.т.н., профессор
Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета
E-mail: sh-linsi@mail.ru

В настоящее время важным направлением стало создание систем распределенной генерации. Развитие систем распределенной генерации основывается на использовании возобновляемых источников (ВИЭ) и систем аккумулирования электроэнергии.

В системах распределенной генерации используются импульсные преобразователи, что вызывает значительное ухудшение качества электрической энергии в распределительных сетях низкого напряжения.

Для уменьшения уровня высших гармоник в сетях электроснабжения целесообразно использовать гибридные фильтрокомпенсирующие устройства, представляющие сочетание пассивного и активного фильтров.

В докладе проведен сравнительный анализ основных конфигураций гибридных фильтров по их способности компенсировать высшие гармоники напряжения в точке общего присоединения нелинейной нагрузки и питающей сети, а также ослаблять высшие гармоники тока сети.

Представим систему фильтр-внешняя сеть четырехполюсником, на внешних зажимах которого действуют источники гармоник E_k и J_k (на рисунках 1, 2, 4, 6 выделен пунктиром).

1. Параллельная структура с активным фильтром, управляемым током нелинейной нагрузки.

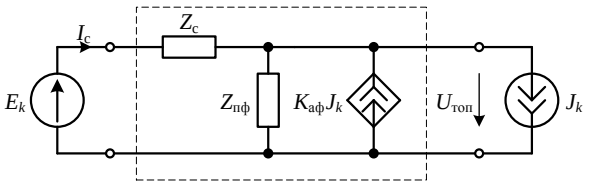


Рисунок 1 – Параллельная структура с активным фильтром

Коэффициент распределения гармоник тока нелинейной нагрузки:

$$K_c = \frac{\left(1 - K_{аф}\right) Z_{пф}}{Z_c + Z_{пф}};$$

Комплексное сопротивление сети в точке общего присоединения:

$$Z = \frac{\left(K_{аф} - 1\right) Z_{пф} Z_c}{Z_c + Z_{пф}}.$$

Данная структура эффективно ослабляет гармоники тока и напряжения, создаваемые нелинейной нагрузкой.

2. Параллельная структура с активным фильтром, управляемым напряжением в точке общего присоединения.

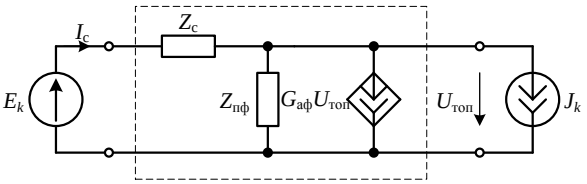


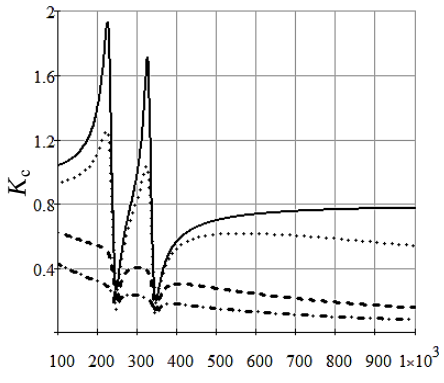
Рисунок 2 – Параллельная структура с активным фильтром, управляемым напряжением

Коэффициент распределения гармоник тока нелинейной нагрузки:

$$K_c = \frac{Y_c}{Y_c + Y_{пф} + G_{аф}};$$

Комплексное сопротивление сети в точке общего присоединения:

$$Z = -\frac{1}{Y_c + Y_{пф} + G_{аф}}.$$



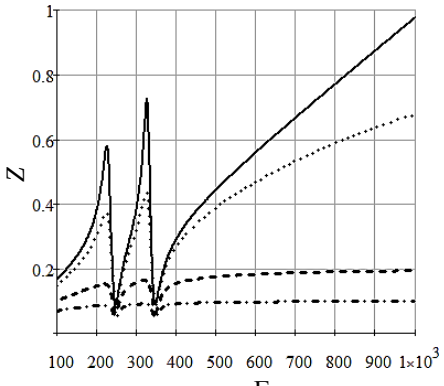


Рисунок 3 – Частотные характеристики: — $G_{аф}$ = 0; ····$G_{аф}$ = 1; ---- $G_{аф}$ = 5; -·-·$G_{аф}$ = 10

Данная конфигурация эффективно ослабляет гармоники напряжения в точке общего присоединения, а также гармоники тока, создаваемые нелинейной нагрузкой. Однако она не может компенсировать гармонические составляющие тока сети, генерируемые внешним источником.

3. Последовательная структура, управляемая током сети.

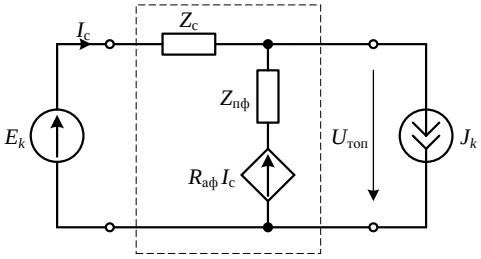


Рисунок 4 – Последовательная структура, управляемая током сети

Коэффициент распределения гармоник тока нелинейной нагрузки:

$$K_c = \frac{Z_{пф}}{Z_c + Z_{пф} + R_{аф}};$$

Комплексное сопротивление сети в точке общего присоединения:

$$Z = \frac{Z_{пф} Z_c}{Z_c + Z_{пф} + R_{аф}}.$$

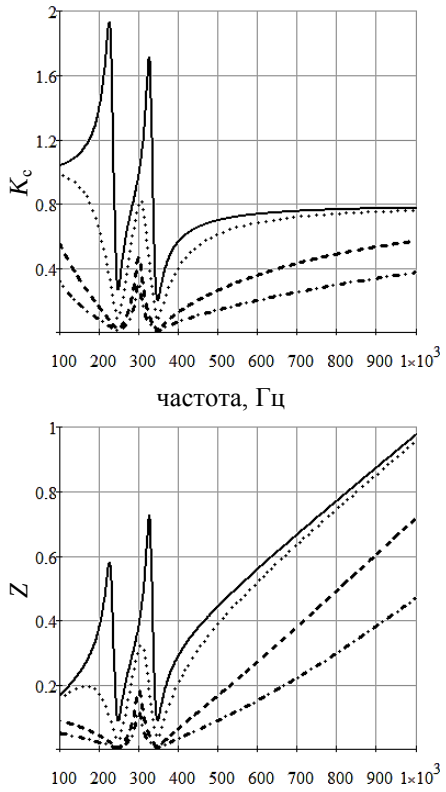


Рисунок 5 – Частотные характеристики: — $R_{аф}$ = 0; ···· $R_{аф}$ = 1; ---- $R_{аф}$ = 5; -·-·- $R_{аф}$ = 10

В данной структуре действие активного фильтра эквивалентно включению сопротивления $R_{аф}$ последовательно с сопротивлением сети. За счет этого уменьшается добротность параллельного колебательного контура, образуемого фильтром и индуктивностью сети.

4. Комбинированная структура с активным фильтром, управляемым током сети.

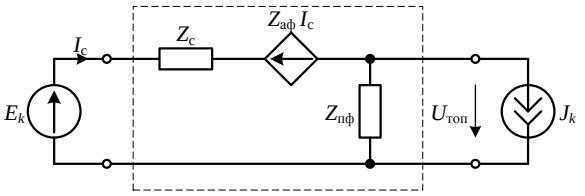


Рисунок 6 – Комбинированная структура с активным фильтром, управляемым током сети

Коэффициент распределения гармоник тока нелинейной нагрузки:

$$K_c = \frac{Z_{пф}}{Z_{пф} + Z_c + R_{аф}};$$

Комплексное сопротивление сети в точке общего присоединения:

$$Z = -\frac{Z_{пф}\left(Z_c + R_{аф}\right)}{Z_{пф} + Z_c + R_{аф}}.$$

Данная структура компенсирует искажения тока сети, вызванные как нелинейной нагрузкой, так и внешней сетью.

Из проведенного анализа мы видим что, компенсационные свойства гибридных фильтров гармоник зависят от схемы соединения активной и пассивной частей фильтра и от характера управляющей переменной. Это определяет и область применения рассмотренных структур. Все рассмотренные конфигурации гибридных фильтров эффективно ослабляют высшие гармоники тока, создаваемые нелинейной нагрузкой в точке общего присоединения. Однако по отношению к гармоникам напряжения в точке общего присоединения они ведут себя по-разному.

Литература

1. Грачев И. Д., Некрасов С. А. О подходах к развитию распределенной энергетики в Российской Федерации – Промышленная энергетика, 2012, № 12, с 2-8.

2. Довгун В. П., Темербаев С. А., Егоров Д. Э., Шевченко Е. С. Компенсационные характеристики гибридных фильтров гармоник. – Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012, № 11-12, с. 72-80.

3. Peng F., Akagi H., Nabae A. Compensation characteristics of the combined system of shunt passive and series active filters. – IEEE trans. on Industry Applications, Vol. 29, No. 1, 1993, pp. 144-152.

COMPARISON ANALYSIS OF DIFFERENT CIRCUITS OF ELECTROSTATIC ENERGY CONVERTER

Blum K.E., Ostertak D.I.
Research supervisor: Ostertak D.I., Ph.D., associate professor
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa
E-mail: bloom.kirill@gmail.com

INTRODUCTION

Surrounding us vibration energy conversion can significantly increase autonomous wireless sensor systems lifetime. This energy source is more stable in time as opposed to other alternative energy sources [1, 2]. Mechanical vibrations are wide available in environment, various areas of industry, aerospace field, mechanical engineering, household appliances, and human activity [1–3].

The device converting mechanical vibration energy to electric energy is called microelectromechanical energy converter (MEMC). Nowadays there are three main types of MEMC: electromagnetic, piezoelectric and electrostatic [4–6], where the most type promising is electrostatic MEMC due to the compatibility their fabrication with the integral circuit technology.

However there is a problem of circuit solution choice to reach maximum output power of electrostatic MEMC [6–8].

MODEL

One of the most important parts of the electrostatic converter is variable capacitor. This work is devoted to modeling single-capacitor mechanical-to-electrical energy converter with different circuit solution of the components and variable capacitor electrode overlap area changing.

Capacitor model used for simulation is described in [9]. Capacitance modulation law (fig.1) is set up approximately to capacity values of the real variable capacitor construction and is described by following expression:

$$C_v(t) = A + B\sec\left[\sin(\pi f t)\right], \qquad (1)$$

where $A = -137.23$, $B = 155.36$, f – capacity modulation frequency.

ANALYSIS

There are three main circuit solutions of the electrostatic MEMC in the literature (fig.2) [6–8]. However there is not unambiguous answer about the most effective circuit to reach the maximum output power of the energy generator.

The initial conditions used in modeling are following: primary voltage source is V_{in} = 15 V, load resistance R_{load} is from 5 MOhm to 150 MOhm, capacitance modulation frequency f = 80 Hz with capacitance modulation law C_v described by expression (1), the modeling results were validated by Spice-model of diodes D_1 and D_2 model 1N4007.

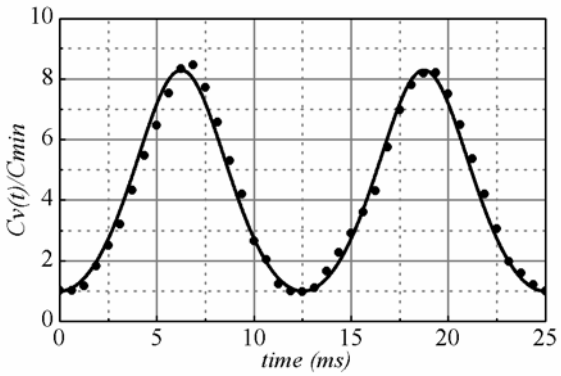


Fig. 1. Time dependence normalized capacitance $C_v(t)/C_{\min}$. Line – expression (1), points – experimental values

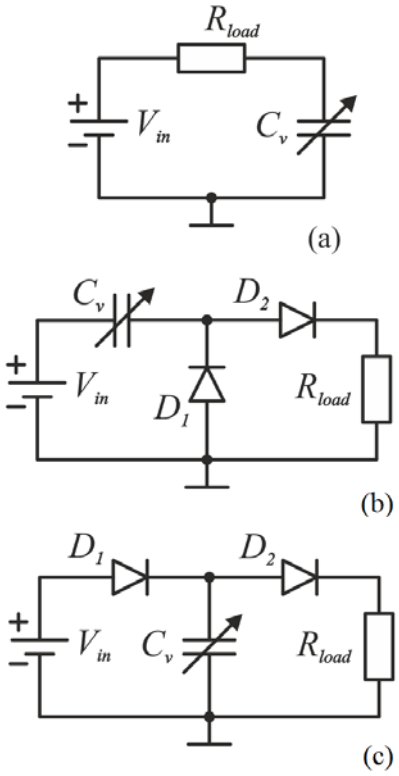


Fig. 2. Circuit of electrostatic energy converter with series connection of the components – circuit 1 (a) [6], with series connection of the components and guiding diodes – circuit 2 (b) [7], with the parallel connection of the components and guiding diodes – circuit 3 (c) [8]

CONCLUSION AND RESULTS

Fig.3 and fig.4 show output voltage and instant power time dependences, which occur in load resistance $R_{load} = 40$ MOhm for different circuits, respectively.

There is positive and negative output voltage in circuit 1 (fig.3, cir.1). Therefore, it is necessary to additionally rectify output voltage to supply autonomous wireless sensors, but this lead to additional energy consumption.

There is small reverse voltage in the circuit 2 (fig.3, cir.2), caused by small reverse current through D_1 and D_2 diodes. Positive properties of the circuit 2 with series connection and guiding diodes are the absence of constant primary energy source consumption, and it is no need for extra output voltage rectification. However, instant power occurred in load resistance R_{load} is less than for other circuits considered.

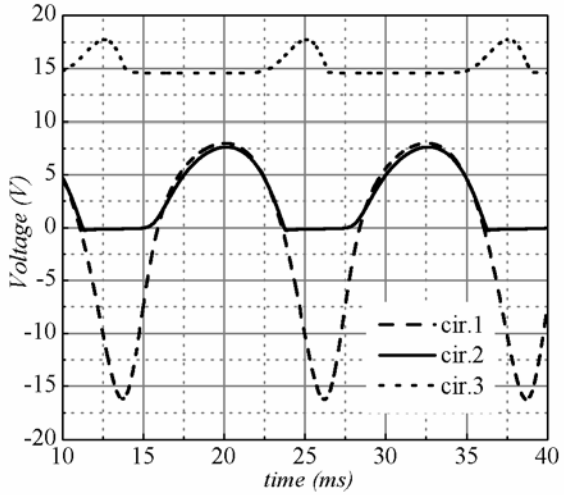


Fig. 3. Time dependence output voltage V at the load resistance $R_{load} = 40$ MOhm for the different circuits

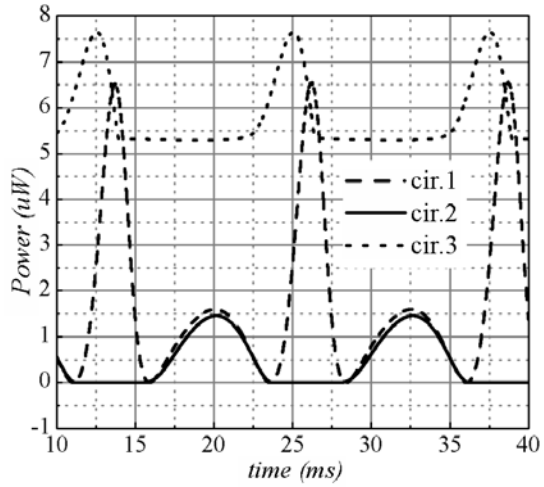


Fig. 4. Time dependence instant power P at the load resistance $R_{load} = 40$ MOhm for the different circuit

There is constant component in the circuit 3 (fig.3, cir.3) due to the primary voltage source V_{in}, therefore constant primary voltage source consumption occurs in the present circuit. Thus, using circuit 3 with parallel connection and guiding diodes not significantly increase lifetime of the autonomous wireless sensor system in comparison with other circuits considered.

REFERENCES

[1] Vullers R.J.M., van Schaijk R., Doms I., van Hoof C., Mertens R. Micropower energy harvesting // Solid-State Electronics. – 2009. – Vol.53. – Is.7. – P. 684–693.

[2] Paradiso J.A., Starner T. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. – IEEE Pervasive Computing. – 2005. – Vol.4. – Is.1. – P. 18-27.

[3] Romero E., Warrington R.O., Neuman M.R. Energy scavenging sources for biomedical sensors. – Physiological Measurement. – 2009. – Vol.30. – Is.9. – P. 35–62.

[4] Munaz A., Lee B.-C., Chung G.-C. A study of an electromagnetic energy harvester using multi-pole magnet // Sensors and Actuators A: Physical – 2013. – Vol. 201. – P. 134–140.

[5] Morimoto K., Kanno I., Wasa K., Kotera H. High-efficiency piezoelectric energy harvesters of *c*-axis-oriented epitaxial PZT films transferred onto stainless steel cantilevers // Sensors and Actuators A: Physical. – 2010. – Vol. 163. – Is. 1. – P. 428–432.

[6] Dragunov V.P., Ostertak D.I. Microelectromechanical Converters // Russian Microelectronics. – 2012. – Vol. 41. – No. 2. – P. 107–121.

[7] Zhu Y., Moheimani S.O.R., Yuce M.R. A 2-DOF MEMS Ultrasonic Energy Harvester // IEEE Sensors Journal. – 2011. – Vol. 11. – N. 1. – P. 155–160.

[8] Hohlfeld D., Matova S., van Schaijk R. System-level Modeling and Simulation of a Frequency-tunable Electrostatic Energy Harvester // 10th. Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-System. – 2009. – P. 1–6.

[9] Blum K.E., Ostertak D.I. An effect of variable capacitor topology with changing of the electrodes overlap on capacitance // Sbornik nauchnyh trudov NGTU. – 2012. – No 4 (70). – P. 113–118.

СЕКЦИЯ 2

Приборостроение

SECTION 2

Instrument Making

ОЦЕНКА ЗАДЕРЖКИ «END-TO-END» В БЕСПРОВОДНОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЕ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ

Афанасьев В. А.
Научный руководитель: Кориков А. М., д.т.н., профессор
Томский университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: vladimir.afanasyev@mail.ru

Для повсеместного использования беспроводных технологий на полевом уровне АСУ ТП, беспроводная коммуникационная подсистема должна обеспечивать надежность доставки данных, и что не менее важно, минимальную величину задержки передачи сообщения, от источника до получателя и ее детерминизм. Для применения беспроводных решений в качестве коммуникационных подсистем на полевом уровне АСУ ТП временные характеристики являются не менее значимым параметром, чем надежность передачи сообщений.

Исходя из важности своевременной доставки сообщений в спецификации ISA100.11a [1] выделяется шесть классов коммуникационных подсистем (Emergency action, Closed loop regulatory control, Closed loop supervisory control, Open loop control, Alerting, Logging and downloading/uploading) в системах АСУ ТП в целом. Данная классификация была разработана исходя из специфики практического применения коммуникационных подсистем в составе АСУ ТП. Согласно данной классификации важность своевременной доставки возрастает от 5-го класса к 0-му. Согласно данной классификации стандарт ZigBee может применяться лишь при решении задач передачи данных в коммуникационных подсистемах АСУ ТП относящихся к 4-5 классу. И это связанно именно с тем, что данный стандарт беспроводной передачи данных не обеспечивает должных временных характеристик, а в частности приемлемой задержки доставки сообщения, от источника до получателя («end-to-end»).

На полевом уровне очень важно, чтобы коммуникационная подсистема имела минимальную величину задержки «end-to-end» с высокой степенью детерминизма. Это обеспечивает детерминизм трафика в сети и позволяет использовать такую сеть в системах реального времени (преобладающих на полевом уровне) при решении задач автоматического управления (1, 2 и 3 класс согласно ISA100.11a).

Задержка «end-to-end» в беспроводной сети определяется согласно формуле 1.

$$d_{end\text{-}end} = N[\, d_{trans} + d_{prop} + d_{queue} + d_{node} + d_{proc}], \quad (1)$$

где:

N - количество роутеров в маршруте передачи сообщения +1;

d_{trans} - задержка вызванная скоростью передачи данных в линии связи, зависит лишь от количества данных (transmission delay);

d_{prop} - задержка распространения сигнала (propagation delay):

d_{proc} - задержка возникающая при обработке пакета сетевым узлом (проверка преамбулы, синхрослова, адреса, длинны и структуры пакета, шифрование/ дешифрование, кодирование/ декодирование пакета в целом или его отдельных полей)) (processing delay);

d_{queue} - задержка возникающая при обработке очереди пакетов (queuing delay). При рассмотрении беспроводной сети d_{queue} часто не учитывают, считая, что в любой момент времени сетевой узел производит обработку лишь одного пакета, что зачастую не так. Пакеты могут поступать быстрее, чем роутер может их обработать. Роутер помещает их в очередь (временный буфер), пока не найдет время для их обработки и передачи. d_{queue} может меняться от пакета к пакету. Величина данной задержки зависит не столько от используемого протокола, а скорее от его программной реализации на конкретной платформе;

d_{node} - задержка возникающая при так называемой узловой обработке сигнала (nodal processing). Зачастую ее включают в processing delay. d_{node} возникает в сети с маршрутизацией пакетов и определяется временем необходимым роутеру для определения адреса следующего сетевого узла в маршруте передачи принятого им пакета.

Данная формула дает лишь приблизительную оценку задержки «end-to-end». На практике для каждого сетевого узла d_{trans}, d_{prop}, d_{proc}, d_{queue}, d_{node} различаются. Они в значительной мере зависят от таких параметров беспроводной сети как топология, используемый базовый стандарт (PHY, MAC), протокол передачи данных, а также его реализации. В сетях с динамической маршрутизацией, N изменяется скачкообразно. Это приводит к появлению значительного джиттера, в следствии задержка «end-to-end» начинает скачкообразно изменяться, что очень негативно сказывается на временных характеристиках сети.

Для оценки величины задержки «end-to-end» и ее составляющих был проведен ряд экспериментов. На базе разработанных модулей беспроводной передачи данных, работающих в составе локальной САУ компрессорной станции. Согласно [2], для уменьшения величины и

джиттера «end-to-end» при проведении замеров использовалась топология «точка-точка».

Наиболее интересно время, затрачиваемое на выполнение одной сетевой транзакции. В данном случае, на доставку одного пакета получателю. И ее зависимость от программной реализации протокола передачи данных.

В качестве эталона использовался отладочный комплект TI TrxEB rev.1.5. с пакетным протоколом передачи данных «SimpliciTI». В ходе выполнения эксперимента осуществлялась непрерывная передача последовательностей из N пакетов (от 10 до 5000), фиксированной длинны (от 5 до 200 *байт*). Замерялось общее время передачи такой последовательности пакетов, после чего из результатов измерений устранялись явные промахи, и производилось усреднение результата приблизительно по 50 значениям. По полученным результатам были построены графики. На рисунке 1 приведены зависимости времени передачи последовательностей пакетов, фиксированной длины для платформы «TI Trx EB» с протоколом «SimpliciTI». На рисунке 2 те же зависимости, только полученные для платформы «STM32» с протоколом передачи данных собственной разработки.

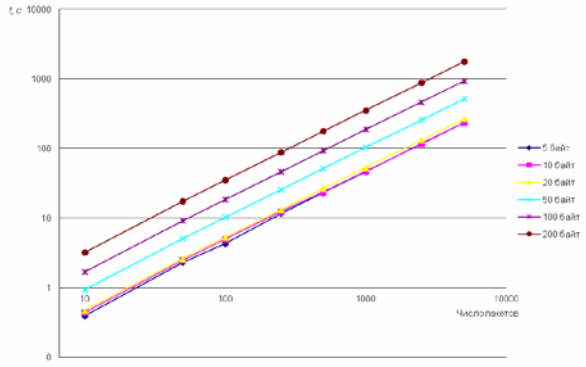


Рис. 1 Результаты эксперимента для «TI Trx EB»

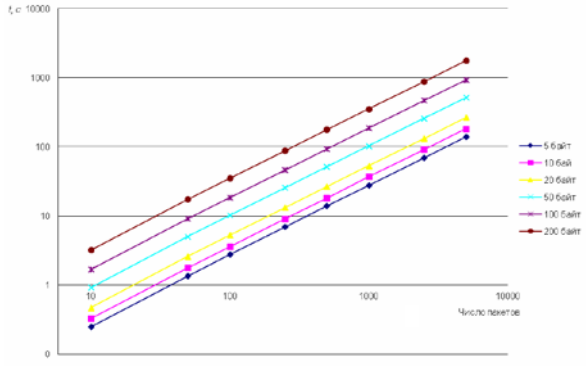


Рис. 2 Результаты эксперимента для «STM32»

Временные характеристики снимались при помощи осциллографа и программного продукта TI SmartRF Studio 7. Передача данных производилась с фиксированной скоростью 4,8 *кБит/с*, для упрощения исключения d_{trans} из результатов. Задержки d_{queue} и d_{node} отсутствовали как таковые, вследствие выбора топологии сети «точка-точка», использованной в эксперименте. Задержка d_{trans} была рассчитана для каждого результата измерения, исходя из количества пакетов, их длинны и скорости передачи данных.

Таким образом, для двух платформ была произведена оценка задержки «end-to-end» и d_{proc} в частности.

Так для последовательности из 10 пакетов, длинной 5 *байт*, время передачи составляет 391 *мс* для «TI Trx EB» и 250 *мс* для «STM32». Следовательно, задержка «end-to-end» на коротких пакетах для платформы «TI Trx EB» 39,1 *мс*, а для «STM32» 25 *мс*. d_{proc} для «TI Trx EB» 15,1 *мс* (62,917 %), для «STM32» 1 *мс* (4,167 %).

Выигрыш в снижении d_{proc} для коротких пакетов составляет 58,75 %.

Заключение

Как видно из полученных результатов в задержке «end-to-end» можно выделить чистое время (d_{trans}+ d_{prop}) затрачиваемое на передачу пакета данных между двумя узлами и так называемые издержки или накладные расходы на передачу данного пакета. Эти накладные расходы могут вносить значительный вклад в общее время передачи сообщения в сети. В частности, как было получено из результатов эксперимента, до 62,917 % от общего времени передачи пакета.

Также можно отметить, что величина накладных расходов в значительной мере определяется программной реализацией. Исходя из полученных результатов видно, что использование разработанного ПО решающего туже задачу, а именно поддержка драйвера беспроводного приемопередатчика и реализация пакетного протокола передачи данных, позволяет получить выигрыш в 58,75 % при передаче коротких пакетов.

Использованные источники

1. ISA100.11a:2008 Draft standard Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications.

2. Deji Chen, Mark Nixon WirelessHART™ – Real-Time Mesh Network for Industrial Automation, Springer New York Dordrecht Heidelberg London 2010. 276c.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПЕЧАТНОЙ ОБМОТКОЙ НА ЯКОРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Баландина Т.Н., Баландин Е.А.
Научный руководитель: Дмитриев В.С. д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E- mail: error.balandina@yandex.ru

В настоящее время в электромеханических исполнительных органах (ЭМИО) наибольшее применение находят бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ). Отсутствие щеточно-коллекторного узла у данного вида двигателя увеличивает надежность и долговечность, повышает КПД. Такой вид электродвигателя может работать в условиях широкого диапазона температур, в вакууме.[2]

В данной статье рассматривается расчет параметров бесконтактного электродвигателя постоянного тока с печатной обмоткой на якоре, мощностью 5 Вт и напряжением питания 12 В, скорость 6000 об/мин. Применение плоского якоря с печатной обмоткой для ЭМИО является оригинальным новшеством.

Конструкция БДПТ с печатной обмоткой приведена на рисунке 1.

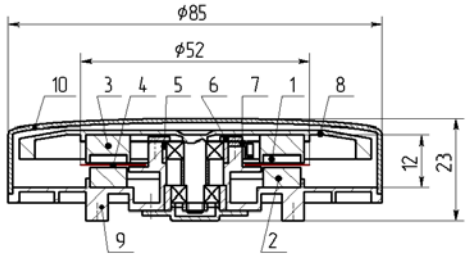


Рис.1. Конструкция БДПТ с печатной обмоткой и его габариты.

Литые постоянные магниты 1 квадратной формы установлены в пазах кольцевого магнитопровода 3 из магнитно-мягкого материала. Кольцо 2 является второй частью магнитопровода. Крепление постоянных магнитов 1 в пазах кольцеобразной станины 3 осуществляется приклеиванием. Поверхности кольца 2 и самих полюсов, образующие торцевой воздушный зазор, тщательно обработаны для обеспечения одинаковых величин зазора магнитной индукции под каждым полюсом. Магнитная система встраевается в корпус 9 и диафрагму маховика 8 из немагнитного материала. Через отверстие в корпусе 9 (на рисунке не показано) подводится питание к трехфазному якорю 4 и датчикам положения установленным при помощи пластины 7.

Ниже приведены расчеты якоря с печатной обмоткой. Приближенно ток якоря можно определить по следующей формуле [3]:

$$I_я = \frac{P_н}{\eta \cdot U_н} = \frac{5}{0.8 \cdot 12} = 0.52(A)$$, где η - предварительная величина к.п.д. двигателя без учета потерь на возбуждение. ЭДС при скорости $n = 1000(об/мин)$ [3]:

$$E = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} \cdot n \cdot \Phi = \frac{3 \cdot 34}{60 \cdot 1} \cdot 1000 \cdot 0.0012 = 2(B)$$

где, p – число полюсов; N – число проводников печатной обмотки; a – число параллельных ветвей обмотки, равно 1 т.к. обмотка волновая; Φ – магнитный поток.

Плотность тока в обмотке якоря для данного вида двигателя [1]:

$j_я = 30 \div 40(а/мм^2)$,принимаем

$j_я = 30(а/мм^2)$.

Полюсное деление [3] :

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{ср}}{2 \cdot p} = \frac{3{,}14 \cdot 3}{2 \cdot 3} = 1{,}57(см),$$

$D_{ср}$ - оптимальный средний диаметр якоря (рис.2).

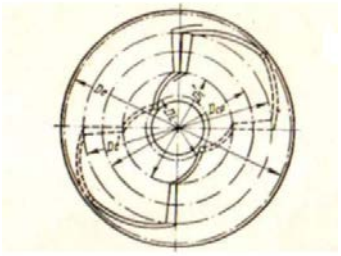


Рис. 2. Размеры печатной обмотки дискового якоря [3].

Внутренний диаметр обмотки [3]:

$$D_i = \frac{N \cdot t_я}{2 \cdot \pi \cdot \gamma} = \frac{34 \cdot 0.074}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.77} = 1.6(см)$$ где,

$t_я$ – минимальный шаг печатной обмотки; γ – отношение минимального шага печатной обмотки $t_я$ к минимальному шагу на внутреннем диаметре t_i (рис. 3).

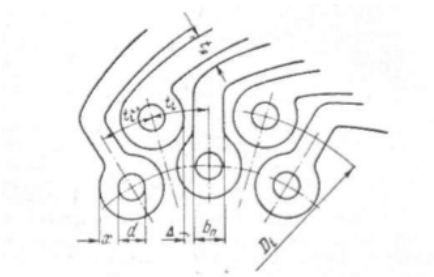


Рис. 3. Концы внутренних лобовых частей печатной обмотки [3].

Внешний диаметр обмотки [3]:

$$D_e = D_e^{'} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot D_i}{2 \cdot p} = 3.6 + \frac{3.14 \cdot 0.77 \cdot 1.6}{2 \cdot 3} = 4.3(см),$$ где

$D_e^{'}$ - внутренний диаметр внешних лобовых частей (рис.2).

Но исходя из рациональной комплектации всего ЭМИО приняты следующие значения диаметров обмотки (с сохранением пропорций): внутренний диаметр обмотки -2,26 см, внешний – 5,2 см.

В данной статье рассматривается БДПТ с печатной обмоткой несимметричной формы, с односторонним расположением полюсов относительно якоря. При несимметричном расположении полюсов магнитное рассеяние значительно больше, чем при симметричном. Однако, в маломощных двигателях с дисковым якорем применяют все же несимметричное расположение полюсов, имеющее ряд конструктивных достоинств, а именно:

- почти в 2 раза меньшее количество деталей;
- несимметричная магнитная система более технологична.

Размеры магнитной системы представлены на рисунках 4 и 5.

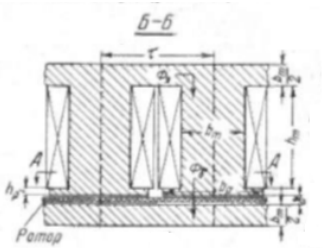


Рис.4. Магнитная система БДПТ с печатной обмоткой [3].

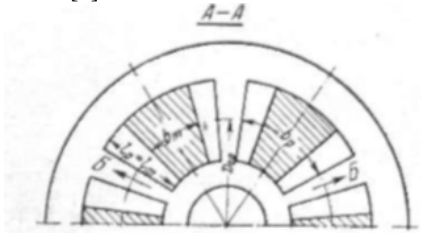


Рис.5. Магнитная система БДПТ с печатной обмоткой [3].

Для данной магнитной системы выбраны неодимовые магниты марки N35. Допустимая магнитная индукция которого:

$$B_c = 1{,}9 \cdot 10^{-4} (вб / см^2)$$

Коэрцитивная сила: $H_c = 87600(A/см)$,

Воздушный зазор [3]:

$$\delta = 0{,}03 \cdot D_{ср} = 0{,}03 \cdot 3 = 0{,}09(см).$$

Размеры полюса определяются по следующим формулам [3]:

Ширина полюса:

$$b_m = \frac{\sigma \cdot B_{ср}}{B_c} \cdot \tau = \frac{1.37 \cdot 0.001}{0.00019} \cdot 1.57 = 1.14(см)$$

где, σ - коэффициент рассеяния; $B_{ср}$ - средняя индукция в воздушном зазоре.

Длина полюса:

$$l_m = 0.268 \cdot D_{ср} = 0.268 \cdot 3 = 0.81(см),$$

Высота полюса:

$$h_m = \frac{B_r \cdot B_{ср} \cdot \delta}{H_c \cdot B_c \cdot \mu_0 \cdot \alpha_\delta} =$$

$$\frac{0.000145 \cdot 0.0001 \cdot 0.09}{87600 \cdot 0.00019 \cdot 1.26 \cdot 10^{-8} \cdot 0.9} \approx 0.2(см)$$

В отличие от двигателей обычного исполнения диаметр якоря с печатной обмоткой сильно зависит от напряжения питания при одной и той же мощности машины.

В двигателе с печатной обмоткой якоря диаметр якоря зависит не от сечения проводника, а от его ширины, точнее от минимального шага обмотки.

Проведенные расчеты конструкции БДПТ с печатной обмоткой показывают, что данный вид двигателя имеет меньший размер статора чем БДПТ с цилиндрическим статором и соответственно меньшие размеры всей конструкции ЭМИО (почти в два раза) и меньший вес. А требование минимальной массы является главным требованием к ЭМИО.

Список литературы

1. Бертинов А. И., Электрические машины авиационной атоматики, Оборонгиз, 1961.
2. Дмитриев В. С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г. Н., Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. Часть 1:Учебное пособие, ТПУ.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013-208 с.
3. Казанский В. М., Основич Л. Д., Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с печатной обмоткой на якоре, М.-Л., изд-во «Энергия», 1965,96 с.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП

Баландин Е.А., Баландина Т.Н.
Научный руководитель: Гурин Л. Б. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:balaniva@sibmail.com

Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) используются в многочисленных системах автоматического контроля, управления и диагностики. Область их применения постоянно расширяется, а предъявляемые технические и конструктивные требования становятся более разнообразными. В настоящее время различные модели ВОГ производятся в промышленных количествах во многих индустриально развитых странах[1]. ВОГ выделяется среди других волоконно-оптических датчиков наибольшей сложностью и многообразием происходящих в нем физических явлений. По сравнению с гироскопами других типов, прежде всего традиционными механическими, ВОГ обладает рядом важных достоинств, среди которых нужно выделить следующие:

- высокую точность при достаточно низкой стоимости;
- большой динамический диапазон измеряемых скоростей;
- нечувствительность к ускорениям и перегрузкам;
- малое время готовности;
- малую потребляемую мощность;
- отсутствие перекрестных связей при построении трехосного блока чувствительных элементов;
- отсутствие вращающихся механических элементов и подшипников.

Физической основой работы ВОГ является эффект Саньяка. В 1913 г. французский физик М. Саньяк, проводя эксперименты по обнаружению увлечения «эфира» вращающейся установкой, открыл «вихревой оптический эффект», позволяющий оптическими методами измерять скорость вращения. Схема опыта Саньяка имела вид, приведенный на рис. 1.

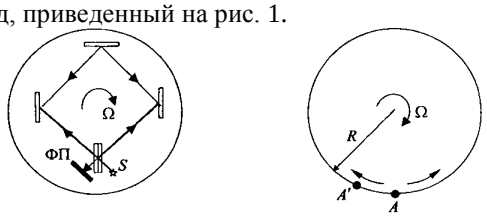


Рис. 1. Схема опыта Саньяка

Рассмотрим распространение двух световых пучков по окружности радиуса R. В неподвижном интерферометре время обхода контура для обоих пучков одинаково и равно $t_0 = 2\pi R/c$, где c - скорость света. При вращении за время обхода контура точка A переместится в точку A' из-за чего условия распространения для встречных пучков становятся разными. Путь, который необходимо пройти пучку, распространяющемуся в направлении вращения: $L_+ = 2\pi R + \Omega R\, t_0$, где Ω - скорость вращения, а путь для другого пучка в противоположном направлении: $L_- = 2\pi R + \Omega R\, t_0$. Подстановкой значения t_0 и с учетом, что скорость распространения пучков в соответствии с постулатом Эйнштейна равна c для любой инерциальной системы независимо от скорости ее движения, находим времена $t_\pm = t_0 \pm \Delta t/2$ обхода контура:

$$t_\pm = \frac{L_\pm}{c} = t_0 \pm \frac{2\pi R^2}{c^2}\Omega$$

т. е. разность времен обхода для встречных пучков

$$\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c^2}\Omega$$

пропорциональна скорости вращения Ω [2]. Из разности времен обхода получаем разность оптических длин путей распространения света в противоположных направлениях:

$$\Delta L = c\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c}\Omega$$

ВОГ изготавливаются в так называемой минимальной конфигурации (Рис. 2) с одинаковыми оптическими путями для двух лучей, распространяющихся в волоконном контуре.

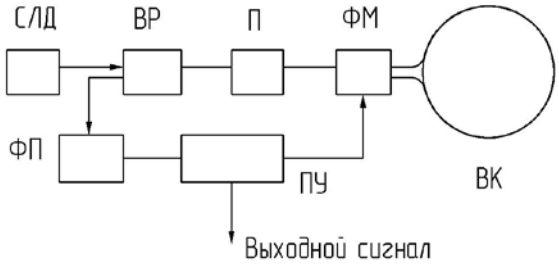


Рис. 2. Структурная схема волоконно-оптического гироскопа

Прибор состоит из источника света-суперлюминесцентного диода (СЛД), волоконного разветвителя(ВР), поляризатора(П), фазового модулятора(ФМ), волоконного контура(ВК), фотоприемника(ФП), платы управления(ПУ).

При конструировании волоконных оптических гироскопов, как правило, в качестве излучателей используют полупроводниковые лазеры (лазерные диоды ЛД), светодиоды (СД) и суперлюминесцентные диоды (СЛД). Для данного прибора был выбран суперлюминесцентный диод ML920J6S. Высококачественные одномодовые суперлюминесцентные диоды являются оптимальными источниками излучения для

волоконно-оптических систем передачи информации, оптических тестеров и гибких оптических мультиплексоров.

Волоконный разветвитель предназначен для деления оптической мощности между каналами передачи. Это устройство должно быть согласовано с входным и выходным участками системы, т.е. заканчиваться либо отрезками волоконных световодов, либо разъемными соединителями. К ним также предъявляется требования стабильности параметров, надежности и технологичности.

Поляризатор предназначен для получения поляризованного оптического света с целью уменьшения нестабильности смещения нуля вследствие поляризационной невзаимности.

Фазовый модулятор предназначен для внесение фазового сдвига между встречными волнами оптического света.

Волоконный контур представляет собою многовитковую катушку оптического волокна. Оптическое волокно, как показано на рис. 3, состоит из сердечника, по которому распространяется свет, и оболочки. Последняя, в свою очередь, заключена в оплетку, которая защищает поверхность волокна, повышает его прочность и тем самым упрощает эксплуатацию [3].

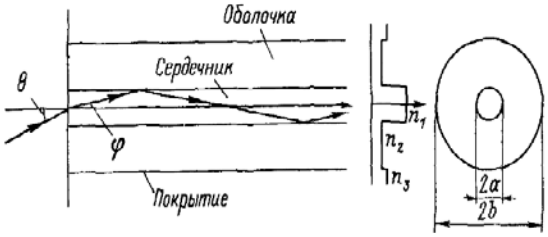


Рис. 3. Оптическое волокно

Последняя, в свою очередь, заключена в оплетку, которая защищает поверхность волокна, повышает его прочность и тем самым упрощает эксплуатацию. Коэффициент преломления сердечника лишь незначительно превышает коэффициент преломления оболочки, поэтому свет, введенный в сердечник с торца волокна, полностью отражается от границы сердечника и оболочки, как бы запирается в сердечнике и распространяется только в нем.

Для волоконно-оптического гироскопа было выбрано одномодовое оптическое волокно Corning SMF–28 ULL. Это волокно имеет самые низкие потери среди известных волокон и самую низкую поляризационно-модовую дисперсию.

Фотоприемник волоконного оптического гироскопа преобразует оптическую интерференционную картину на входе в выходной электрический сигнал. Поскольку интенсивность интерференционного оптического сигнала зависит от соотношения фаз двух интерферирующих лучей, амплитуда электрического сигнала, линейно связанная с интенсивностью оптического сигнала. Фотоприемник должен обладать очень высокой чувствительностью или высоким разрешением с тем, чтобы «чувствовать» такие градации изменения интенсивности, которые соответствуют разности фаз оптических колебаний порядка 10^{-7} рад, что эквивалентно угловой скорости вращения ВОГ примерно 10^{-2}... 10^{-3} град/ч (требуемая точность для систем инерциальной навигации). Также фотоприемник должен обеспечивать требуемый динамический диапазон и быстродействие. Зависимость характеристик фотоприемника от изменений окружающих условий (температуры, вибраций и т. д.) должна быть минимальной. Спектральная характеристика должна быть согласована с длиной волны излучателя.Был выбран инфракрасный высокочастотный фотодиодный модуль ИФПМ 1-10 рис. 4. Фотоприемный модуль с одномодовым волоконно-оптическим входом ИФПМ 1-10 предназначен для применения в системах волоконно-оптической передачи, измерительном и другом оборудовании широкого применения в качестве преобразователя оптического излучения в электрический сигнал.

Рис. 4. Внешний вид ИФПМ 1-10

Фотодиодный модуль имеет чрезвычайно низкое обратное отражение шумов в волоконно-оптическую линию связи.

Плата управления предназначена для формирования постоянного фазового сдвига между встречными световыми волнами, равного $\pi/2$ рад, обработку аналогового сигнала с ФП в цифровой и дальнейший его вывод на индикацию.

Список литературы

1. Филатов Ю. В. Волоконно-оптический гироскоп: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 52с.
2. Шереметьев Л. Г. Волоконный оптический гироскоп. — М.: Радио и связь, 1987.— 152 с: ил.
3. Волоконно-оптические датчики/Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К; Под ред. Т. Окоси: Пер. с япон.— Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.—256 с: ил.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ДЕФЕКТОСКОП ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Белоусов Д.А.
Научный руководитель: Полещук А.Г., д.т.н.
Новосибирский государственный технический университет (НГТУ),
630073, Россия, Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20
Институт автоматики и электрометрии СО РАН 630090, Новосибирск, проспект Коптюга, 1
E-mail: Mersee_kz@mail.ru

Введение

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) – неотъемлемая часть современных оптических систем, они нашли широкое применение в измерительных и бытовых приборах, а также в медицинской и военной технике. Основная причина отклонения характеристик ДОЭ от заданных это ошибки нанесение профиля на подложку [1], поэтому возникает необходимость контроля параметров ДОЭ. Многие методы контроля ДОЭ основываются непосредственно на сканирование микрорельефа и оценки его качественных параметров: ширина штрихов, глубина микрорельефа. К таким методам относятся: методы атомно-силовой микроскопии, методы конфокальной и лазерной профилометрии, микроскопия электронным пучком[2].

Существуют так же и бесконтактные методы контроля параметров микрорельефа, один из которых основан на изменении распределения дифракционной эффективности (ДЭ) в зависимости от микрорельефа (этот метод требует высокой точности измерения интенсивности дифрагированных световых пучков в широком динамическом диапазоне и поэтому до сих пор не получил широкого распространения [3]). ДЭ определяется отношением значений интенсивности дифрагированного волнового фронта к интенсивности падающего волнового фронта: $\eta(x,y) = I_{out}(x,y)/I_{in}$. Изменение скважности и глубины микрорельефа приводят к изменению ДЭ как в нулевом, так и в других дифракционных порядках. Следовательно, для контроля качества изготовленных ДОЭ, необходимо измерить распределение ДЭ по всем порядкам дифракции и решить обратную задачу [4]. Кроме того есть возможность восстановления микрорельефа ДОЭ по характеристике распределения ДЭ в случае если погрешность измерения не превысит 5% СКО.

На практике используют приближённые методы восстановления глубины микрорельефа по распределению ДЭ в рабочем порядке дифракции, в которых считается, что скважность постоянна, а дифракционная эффективность зависит только от глубины микрорельефа (h). Соответственно для контроля качества ДОЭ, глубина микрорельефа восстанавливается из измеренного распределение ДЭ по поверхности ДОЭ с помощью формулы:

$$h = \frac{\lambda}{\pi*(n-1)} * \arcsin(\sqrt{\frac{\eta}{0{,}405}}). \quad (1)$$

где n – коэффициент преломления подложки ДОЭ при данной длине волны λ.

Существующие автоматизированные методы измерения ДЭ обладают значительными недостатками, а измерение ДЭ вручную требует значительных временных и физических затрат, при этом не избавляя от человеческой ошибки. В силу перечисленных фактов возникла необходимость создания прибора способного оперативно производить измерения ДЭ с высокой точностью во всех видимых порядках дифракции.

Система контроля качества ДОЭ

Проанализировав имеющиеся методы измерения ДЭ, был разработан и собран оптико-электронный прибор, позволяющий автоматически производить оперативное измерение распределения интенсивностей дифракционных порядков (ДП) ДОЭ с высокой точностью и скоростью, и исследовать влияния формы фазового рельефа на ДЭ, простого в применение, и имеющего интуитивно понятный интерфейс программного обеспечения. Ниже приведена упрощённая схема прибора (Рис. 1.).

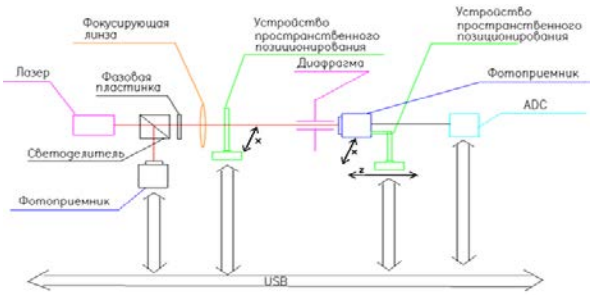


Рис. 1. Схема оптико-электронного дефектоскопа.

В основе установки лежит сканирующий метод измерения [5].

В самом общем случае величина ДЭ полученная сканирующим методом может отличаться от реальной ДЭ, если в синтезируемом образце имеются значительные искажения геометрии дифракционных зон. Однако в технологических комплексах, формирующих данные структуры, используются высокоточные системы управления перемещением записывающей головки, в результате чего удаётся минимизировать подобную причину ухудшения ДЭ.

Недостатком этого метода, при выполнении измерений лабораторным методом (вручную) является низкая скорость и точность измерения.

Экспериментальные данные

В настоящей работе приведём сравнение данных измерения распределения ДЭ и восстановленной по этим данным глубины микрорельефа фазовой зонной пластинки полученных так называемым лабораторным методом и с помощью нашего дефектоскопа.

Лабораторным методом обычно измеряют лишь -1 первый порядок дифракции, иногда ещё и нулевой (собственно, выбор измеряемого порядка зависит от того какой порядок рабочий у данного ДОЭ). Выбирается небольшое количество точек по всей поверхности ДОЭ и измеряется дифракционная эффективность в этих точках.

В ходе проведённых измерений лабораторным методом было получено распределение дифракционной эффективности ДОЭ в -1 порядке дифракции с шагом 5 мм. Измерения на дефектоскопе проводились с шагом 1 мм, что позволило, получить нам более точные данные, по распределению дифракционной эффективности, а соответственно и глубине микрорельефа по оси исследуемого элемента. Время измерения ДЭ по всей оси ДОЭ диаметром 50 мм составило 25 минут. В результате проведённого эксперимента были получены графики распределения ДЭ различных порядков дифракции (вплоть до -5 и +5), но для сравнения с лабораторным методом нам понадобиться лишь данные -1 порядка дифракции.

На рис. 2 и 3 приведены графики сравнения результатов распределения ДЭ полученных лабораторным методом и на оптико – электронном дефектоскопе в -1 порядке дифракции и восстановленной с помощью (1) глубины микрорельефа соответственно.

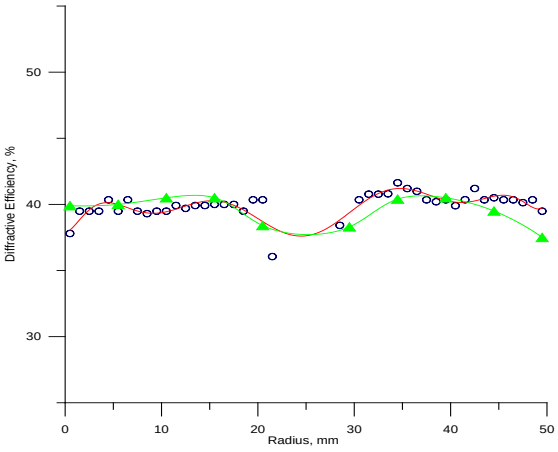


Рис. 2. ДЭ в -1 порядке дифракции полученная:
на оптико – электронном дефектоскопе
лабораторным методом

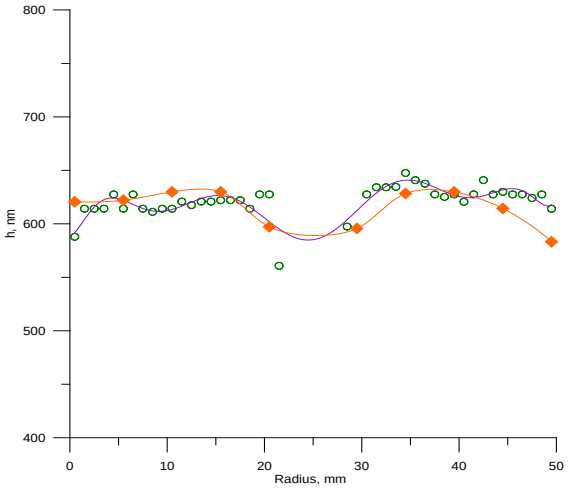


Рис. 3. Восстановленная глубина микрорельефа фазовой зонной пластинки по результатам распределения ДЭ в -1 порядке дифракции полученных:
на оптико – электронном дефектоскопе
лабораторным методом

Провалы по краям хоть и являются отклонением от нормы, но они связанны с методом создания микрорельефа ДОЭ и ожидаемы, а вот провал в центре указывает нам на брак предоставленного для проверки элемента.

Заключение

Экспериментальные результаты показывают, что предложенная концепция автоматизированной системы измерения ДЭ работоспособна. Данная установка может использоваться для контроля качества изготовленных ДОЭ. Разработанный оптико-электронный дефектоскоп даёт возможность оперативно распределение ДЭ от -5 до +5 ДП, что даёт возможность использовать данное устройство, для более точного восстановления формы микрорельефа (учитывая не только влияние глубины, но и скважности на ДЭ), решая обратную задачу согласно [4].

Список литературы

1. В.П. Корольков, А.И. Малышев, В.Г. Никитин, А.Г. Полещук, А.А. Харисов, В.В. Черкашин, Ч. Ву. Полутоновые фотошаблоны на основе LDW-стёкол. Автометрия. 1998, Т. **27**, 6, стр. 27-36.

2. M.T. Gale, M. Rossi, H. Schütz, P. Ehberts, H.P. Herzig, and D. Pronque. Continuous-relief diffractive optical elements for two-dimensional array generation. Appl. Opt. 1993, **32**, p. 2526-2533.

3. А. В. Гончарский, В.В. Попов, В.В. Степанов. Введение в компьютерную оптику. Москва: Издательство МГУ, 1991.

4. M. Ekberg, F. Nikolajeff et al. Proximity-compensated blazed transmission grating manufacture with direct-writing, electron-beam lithography. Appl. Opt. 1994, **33**, стр. 103-107.

5. Хомутов В.Н., Полещук А.Г., Черкашин В.В. Измерение дифракционной эффективности ДОЭ по многим порядкам дифракции. Компьютерная оптика. 2011, Том **35** №2, стр. 196-201.

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Бикбулатов А.С.
Научный руководитель: Селезнев А.И., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: asb6@tpu.ru

Известно, что параметры полупроводниковых компонентов варьируются даже среди элементов одного типономинала. Это означает, что ВАХ каждого отдельного компонента имеет индивидуальный вид. Это создает некоторые сложности при изготовлении приборов.

В специализированных устройствах, позволяющих измерять параметры полупроводниковых компонентов и строить их вольт-амперные характеристики, нуждаются, в первую очередь, предприятия, занимающиеся производством этих компонентов, для обеспечения контроля их качества и соответствия нормам. Также данный прибор нужен научным лабораториям, научно-производственным центрам, которые занимаются проектированием новых устройств, когда необходимо уже на начальном этапе производить контроль параметров устройств и их устойчивость при влиянии внешних факторов. Также измеритель ВАХ может быть использован в учебных заведениях для проведения лабораторных работ при изучении основ полупроводниковой техники для наглядного изучения вида характеристик и сравнения реальных ВАХ с теоретическими.

В настоящее время на рынке существуют подобные приборы. Тем не менее, часть из них представляют собой аналоговые измерители (например, Л2-54) основных параметров полупроводниковых приборов, причем без визуального отображения их ВАХ. Другие позволяют наблюдать ВАХ компонентов на экране прибора или компьютера в виде графиков и таблиц. Однако, они представляют собой сложные, дорогостоящие устройства. Проектируемый прибор обеспечит хорошие показатели точности при измерении параметров полупроводниковых компонентов (диодов, биполярных транзисторов, тиристоров, светодиодов и т.д.) малой и средней мощности, сделает возможным визуальное представление результатов измерений на мониторе компьютера, позволит управлять параметрами воздействующих на компонент сигналов. При этом прибор будет иметь сравнительно низкую стоимость.

Рассмотрим структурную схему прибора.

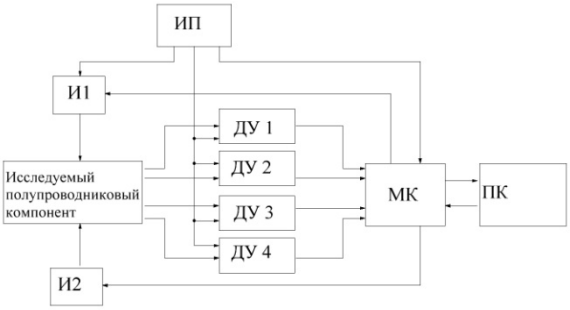


Рис. 1. Структурная схема: ДУ1, ДУ2, ДУ3, ДУ4 – дифференциальные усилители; И1, И2 – управляемые источники напряжения; МК – микроконтроллер; ПК – персональный компьютер; ИП – источник питания.

Работой прибора управляет микроконтроллер ATmega 16. Производительности ATmega 16 достаточно для выполнения требуемых логических и арифметических операций. Микроконтроллер имеет несколько входов 8-канального 10-разрядного АЦП, модуль универсального асинхронного приемопередатчика (UART), способен генерировать сигнал с широтно-импульсной модуляцией, прост в программировании, является широко распространенным и недорогим.

В схеме имеется 2 управляемых источника напряжения. Их управление производится микроконтроллером, с помощью широтно-импульсной модуляции. Вырабатываемые микроконтроллером импульсы подаются на вход фильтра нижних частот, который выделяет постоянную составляющую сигнала. Изменяя скважность импульсов, контроллер регулирует величину управляющего напряжения от 0 до 5 В. Это напряжение с помощью операционного усилителя и схемы на биполярных транзисторах усиливается и выполняет роль напряжения питания (Еп) для схемы измерения исследуемых компонентов в диапазоне от 0 до 30 В. Диапазон изменения напряжения Е1 (для задания тока базы транзистора) от 0 до 5 В.

В качестве измерителей напряжений используются 4 дифференциальных усилителя. Входы дифференциальных усилителей подключены параллельно сопротивлениям, ток через которые необходимо измерить, а также к тем местам схемы, где необходимо найти падение напряжения. В данном случае измеряются напряжения $U_{Rб}$, $U_{бэ}$, $U_{Rк}$, $U_{кэ}$.

Выходные сигналы с дифференциальных усилителей подаются на входы АЦП

микроконтроллера, который преобразует их в значения токов и напряжений.

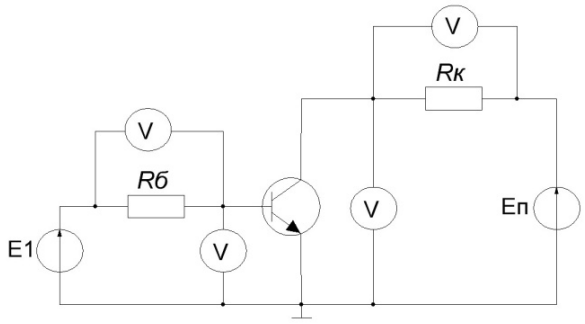


Рис. 2 Типичная схема для снятия характеристик транзистора.

Полученные данные отправляются по каналу UART в ПК. В связи с тем, что не все современные персональные компьютеры и ноутбуки имеют разъем COM-порта, применен USB–COM переходник. Сведения поступают в ПК в виде таблиц. Данные можно легко вставить в программу для построения графиков и получить графическое представление вольт-амперных характеристик.

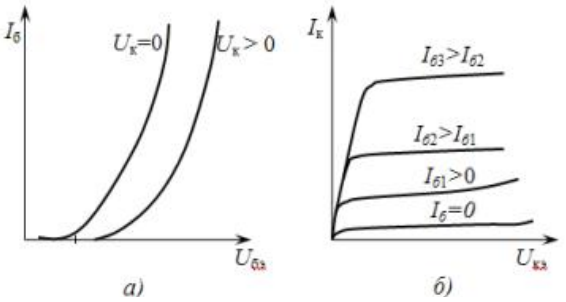


Рис. 3 Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора: а – входные, б – выходные.

До начала проведения измерений пользователю будет предложено задать параметры воздействий на компонент, такие как максимальный ток коллектора (ток через диод) и максимальное напряжение коллектор-эмиттер.

С помощью данного прибора в графическом виде возможно получить следующие виды характеристик:

- зависимость тока, протекающего через диод от напряжения на нем;
- семейство зависимостей тока базы транзистора от напряжения база-эмиттер при различных напряжениях коллектор-эмиттер (семейство входных характеристик);
- семейство зависимостей тока коллектора транзистора от напряжения коллектор-эмиттер при различных токах базы (семейство выходных характеристик);
- ВАХ стабилитронов и светодиодов.

Разрабатываемый прибор прост в эксплуатации. Для работы с прибором, прежде всего, следует подключить его к ПК через USB интерфейс и запустить программу Terminal. После чего нужно установить исследуемый полупроводниковый компонент в разъем прибора. Пользователю предоставляется сделать выбор типа полупроводникового компонента, установить максимальные значения тока и напряжения, которые будут применены для его исследования. Все это осуществляется в программе Terminal отправкой соответствующих символов. Далее начинаются измерения. При изучении транзистора, сначала исследуется его входная характеристика. Контроллер начинает дискретно, с определенным шагом, рассчитываемым программой, изменять значения воздействующих на компонент напряжений. После каждого такого изменения происходит измерение значений напряжений и токов, протекающих через компонент. Эти данные поступают в контроллер. Программа, используя определенный алгоритм и применяя формулы преобразования, обрабатывает данные и отправляет их в ПК.

По такому же принципу происходит исследование выходной характеристики транзистора. В итоге, на ПК передаются две таблицы. Первая колонка, содержит значения токов (мА), вторая колонка – значения напряжений: для ВАХ диода и входной характеристики транзистора – (мВ), для выходной характеристики – (В). При необходимости увидеть графическое преставление вольт-амперных характеристик, необходимо скопировать данные в программу, предназначенную для построения математических графиков, и получить наглядное изображение характеристик, что позволит более детально и точно исследовать их вид, а также выбрать рабочую точку и режим работы компонента в электрической схеме устройства, где он будет применен.

Основные технические характеристики прибора:

- Питание устройства осуществляется от сети 220 В, 50 Гц;
- Максимальный напряжение коллектор-эмиттер 30 В;
- Максимальный ток через коллектор (диод) 500 мА;
- Шаг изменения напряжения коллектор-эмиттер 120 мВ;
- Максимальный ток базы 10 мА;
- Шаг изменения тока базы 9,7 мкА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ATmega16(L) Complete. URL: http://www.atmel.com/pt/br/Images/doc2466.pdf
2. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники// Издание 5-е, переработанное. Москва «Мир», 1998.
3. Мутовин Ю.В. Твердотельная электроника: практикум/ Ю.В. Мутовин. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 113с.

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВИОНИКИ С ТРЕХМЕРНЫМ РЕЖИМОМ ИНДИКАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Богданов А.В., Богданова О.В., Виноградов П.С.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

Введение

Развитие геоинформационных систем и их введение в состав навигационных комплексов летательных аппаратов (ЛА) привело к появлению на борту цифровой карты местности (ЦКМ). ЦКМ отображается на средствах индикации в режиме 2D (D – dimension, см. рис.1,а) — плоский рисунок с видом «с земли на самолет» или «с самолета на землю». Режим 3D индикации ЦКМ (см. рис.1,б) имеет перспективы применения в авиации:

- на этапах взлета или посадки ЛА, когда требуется детальное воспроизведение на средствах индикации местоположения объектов в подлетной зоне аэродромов;
- при полетах ЛА в условиях гористой местности, где резкие перепады высот ограничивают видимую летчиком область закабинного пространства, и в ряде других случаев.

а) б)

Рис.1. Примеры индикационных кадров отображения геоинформационных данных на борту ЛА в режиме: а) 2D, б) 3D.

1. Принцип формирования ЦКМ в 3D.

Принципы, положенные в основу проектирования бортовых цифровых картографических систем (БЦКС) интегрированной модульной авионики [1-5], поддерживающих 3D индикацию геоинформационных данных, следующие:

- рельеф ЦКМ изображается способом теневой пластики, способом цветовой пластики (гипсометрическим способом), комбинированным способом (совмещение «отмывки» и гипсометрии) или псевдообъемным способом. Традиционный способ представления рельефа (посредством изолиний) не предусматривается из-за его несоответствия эргономическим требованиям авионики. Способ «отмывки» упрощает восприятие характера рельефа местности, обеспечивая выделение вершин, хребтов, ущелий. Гипсометрический способ позволяет по цвету заливки фрагмента ЦКМ оценивать абсолютные уровни высот участков местности над уровнем моря или относительную высоту ЛА над участками местности в зоне полетов;
- некоторые площадные пространственные объекты, в том числе различные зоны пилотирования, рассчитываемые в процессе полета ЛА, воздушные трассы, эшелоны и т.п. изображаются способом полупрозрачных цветных ореолов;
- в основе формирования изображений лежат принципы создания сцен при использовании программного интерфейса для графических аппаратных средств, принятых в системах компьютерной графики (OpenGL — Open Graphic Library). Элементарными объектами отображения являются треугольник и тетраэдр.

Требования к устройству синтеза видеоизображения, поддерживающему режим 3D:

- реализация отображения графических примитивов типа «треугольник», «прямая», «точка» должна осуществляться с использованием стандарта OpenGL SC (Safety Critical);
- должна обеспечиваться возможность задания цвета для каждой вершины примитива с последующим градационным переходом по оттенку цвета при растеризации — для реализации процесса «отмывок» рельефа местности, гипсометрии;
- наличие буфера памяти видеоОЗУ — для отображения 3D изображений (снятия дополнительной нагрузки с вычислительного узла БЦКС);
- наличие внутреннего канала обмена для формирования полупрозрачных цветных ореолов;
- наличие высокоскоростного сопроцессора (сопроцессоров) математических операций для программной поддержки функций OpenGL.

2. Функциональная схема БЦКС

Схема БЦКС приведена на рис.2.

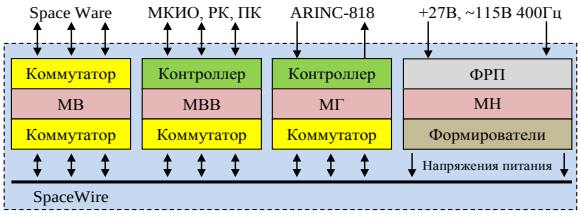


Рис.2. Функциональная схема БЦКС.

В состав БЦКС входят следующие конструктивно-функциональные модули (КФМ):

1) МВ — модуль вычислитель, имеющий в составе два независимых канала обработки данных, каждый из которых представляет собой вычислительное устройство на базе микропроцессора.

2) МВВ — модуль ввода-вывода, обеспечивает поддержку бортовых интерфейсов: последова-

тельный канал (ПК) информационного обмена и разовые команды (РК) по ГОСТ 18977-79, мультиплексный канал информационного обмена (МКИО) по ГОСТ Р 52070-2003.

3) МГ — модуль графический. МГ, представляет собой устройство, реализующее обработку команд OpenGL, прием и обработку внешней видеоинформации, формирование выходного видеосигнала на бортовые средства индикации.

4) МН — модуль напряжений, преобразующий напряжение бортовой сети +27В, ~115В 400Гц во вторичные напряжения питания. МН включает в свой состав фильтр радиопомех (ФРП).

3. Функциональная схема МГ с режимом 3D

Функциональная схема МГ приведена на рис.3.

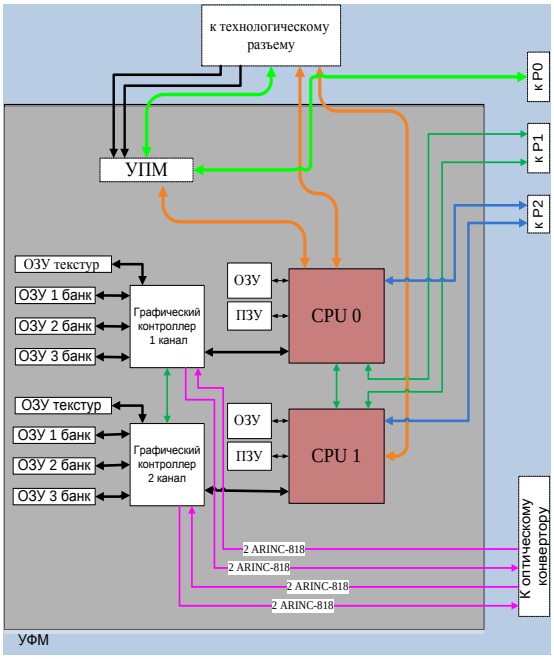


Рис.3. Функциональная схема МГ.

Модуль МГ состоит из следующих узлов:

1) УФМ — узел функций модуля, реализует основные функции модуля МГ;

2) УПМ — узел поддержки модуля, поддерживает технологические интерфейсы, формирователи исправности, сторожевой таймер и т.д.;

3) Р0…Р2 — внешние высокочастотные интерфейсные разъемы КФМ;

4) Оптический конвертор — внешнее устройство, обеспечивающее преобразование электрических сигналов интерфейса ARINC-818 в оптические сигналы и наоборот;

5) CPU0, CPU1 (Central Processor Unit) — центральные процессоры, включающие несколько процессорных ядер, встроенные контроллеры интерфейсов (2 SpaceWire, 2 Serial RapidIO, 4 Lane, 2 GigaSpaceWire);

6) Графический контроллер — устройство, реализующее аппаратную поддержку системы команд OpenGL.

МГ осуществляет прием, буферизацию входного потока вершин, расчет и растеризацию графических примитивов с учетом требуемых для 2D и 3D режимов функций OpenGL: расчет цветовых и текстурных координат, отображение видеоинформации из содержимого буфера видеоОЗУ.

Основной отличительной особенностью представленной на рис.3 схемы МГ является наличие нескольких (4 физических, до 8 логических на канал, 8 и 16 соответственно на КФМ) раздельных видеобуферов. Для реализации графических функций в системе предыдущего поколения (2D режим) было необходимо 4 буфера видеопамяти — в первом буфере формировалось текущее изображение, содержимое 2-го буфера выводилось на индикацию, 3-й и 4-й буферы использовались в режиме поворота изображения. С использованием нового МГ достаточно 2 буферов — в одном буфере формируется текущее изображение (с учетом всех преобразований), содержимое второго буфера выводится на бортовую индикацию.

Заключение

Основной особенностью МГ, поддерживающих функцию формирования 3D изображения ЦКМ, является использование полигональных геометрических моделей, расширение номенклатуры графических примитивов объектами типа «треугольник» и «тетраэдр» и введение специализированных способов их цветовой заливки.

Список литературы

1. Парамонов П.П., Ильченко Ю.А., Жаринов И.О. Теория и практика статистического анализа картографических изображений в системах навигации пилотируемых летательных аппаратов // Датчики и системы, 2001, № 8, с.15–19.

2. Парамонов П.П., Ильченко Ю.А., Жаринов И.О., Тарасов П.Ю. Структурный анализ и синтез графических изображений на экранах современных средств бортовой индикации на плоских жидкокристаллических панелях // Авиакосмическое приборостроение, 2004, № 5, с.50–57.

3. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

4. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, № 2 (84), с.1–17.

5. Парамонов П.П., Костишин М.О., Жаринов И.О., Нечаев В.А., Сударчиков С.А. Принцип формирования и отображения массива геоинформационных данных на экран средств бортовой индикации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, № 6, с.136–142.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНДИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОЛЯ КАБИНЫ ПИЛОТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Большакова Е.Ю., Михайлова О.В., Виноградов П.С.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

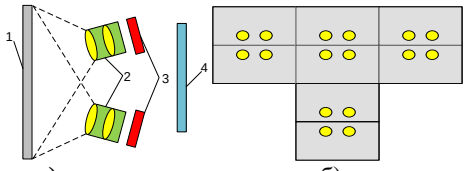
Введение

Современные подходы к проектированию информационно-управляющего поля кабины пилота перспективного летательного аппарата (ЛА) базируются на внедрении технологии мультисекционных дисплеев на приборную панель ЛА. Мультисекционный дисплей представляет собой совокупность проекционных экранов, выполненных по технологии жидких кристаллов (ЖК) [1-4], с независимым способом управления каждой секции.

Принципы построения интегрированного информационно-управляющего поля авионики

Для организации управления одной секцией ЖК необходимо сформировать два канала управления: оптический и электронный. Оптический канал включает (см. рис.1,а): проекционный ЖК-экран обратной проекции (1), широкоугольный объектив-проектор (2), источник изображения (3).

Электронный канал представляет собой плату управления (4), обеспечивающую формирование электрических сигналов для поляризации кристаллов ЖК и задания цвета пикселей экрана.



а) б)

Рис.1. Схема а) одной секции проекционной панели б) мультисекционного проекционного экрана.

Основное отличие мультисекционного экрана от совокупности бортовых средств индикации (многофункциональные цветные индикаторы, пульты управления и индикации, аналоговые и цифровые электромеханические приборы и пр.), используемых на современных ЛА, заключается в:

- повышенном уровне интеграции бортовой аппаратуры за счет концентрации электронно-вычислительных средств управления и расчетов в единую бортовую графическую станцию;
- снижении результирующих массогабаритных показателей аппаратуры вследствие объединения конструктивов;
- снижении энергетических характеристик токопотребления аппаратуры;
- повышении показателей надежности функционирования информационно-управляющего поля кабины ЛА.

При организации единой приборной панели на основе проекционной технологии расположение проекторов может быть представлено конфигурацией, приведенной на рис.1,б. Проекционная приборная панель обеспечивает:

- реализацию 8-ми независимых областей индикации пилотажно-навигационной информации;
- двукратное резервирование средства отображения в каждой области;
- масштабируемость мультисекционного экрана (по наращиванию размера проекционной приборной панели).

Реализация информационно-управляющего поля на основе проекционного мультисекционного экрана накладывает существенные ограничения на способы формирования изображений, так как представление информации экипажу ЛА осуществляется не на обособленных индикаторах, т.е. в привычной экипажу форме, а на едином индикационном поле:

- видеоинформация (символы, шкалы, счетчики высоты и др., мнемосимволы) от одного источника бортовой информации может располагаться на нескольких полях индикации;
- видеоинформация от нескольких источников может располагаться в одном поле индикации.

При использовании на борту ЛА единого информационного пространства возможны ситуации коллизии:

- когда на смежных полях индикации будут отображаться фрагменты изображений из разных кадров, полученных от одного источника информации вследствие несинхронности работы нескольких бортовых источников данных;
- за счет глубокой буферизации видеоизображений и графических синтезируемых изображений задержка по предоставлению экипажу ЛА информации будет существенной для реального масштаба времени.

Парирование ситуаций коллизии обеспечивается при условии организации специализированной структуры графических средств синтеза изображений для проекционного мультисекционного экрана. Пример структуры графических средств синтеза изображений для проекционного мультисекционного экрана приведен на рис.2. Принцип работы устройства следующий [5-9].

Видеокоммутатор обеспечивает перемасштабирование, селекцию и коммутацию восходящих видеопотоков от видеодатчиков ЛА в

видеопроцессоры согласно текущему расположению видеоизображений на проекционном экране. Каждый из видео и графических процессоров ориентирован на обработку определенного поля индикации проекционного экрана.

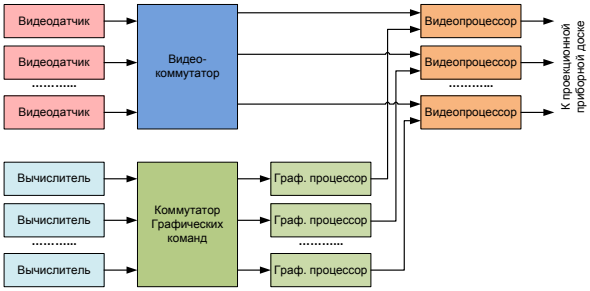


Рис.2. Функциональная схема управляющего устройства для формирования независимых потоков управления бортовым мультисекционным экраном.

Видеопроцессоры работают синхронно по выходным видеоизображениям и асинхронно по входным, при этом обеспечивается обработка восходящего потока от видеокоммутатора с целью синхронизации фрагментов кадров от источников видеоинформации.

Вычислители работают синхронно в режиме покадровой синхронизации и обеспечивают общесистемное управление и формирование команд росписи изображения независимо от расположения кадров на проекционном экране.

Коммутатор графических команд обеспечивает селекцию и коммутацию восходящих потоков графических команд от вычислителей в графические процессоры согласно текущему расположению синтезируемых изображений на проекционном экране.

Графические процессоры работают синхронно по выходным видеоизображениям и по входным графическим командам, при этом обеспечивается синхронизация фрагментов кадров от вычислителей. Реализация такого подхода к синтезу изображений для проекционного экрана позволяет обеспечить:

- минимальные задержки в формировании изображения на бору ЛА;
- синхронность представления видеоизображений на интегрированном информационно-управляющем поле ЛА;
- широкие возможности по формированию интуитивно-понятного адаптированного к текущей ситуационной обстановке интерфейса кабины для экипажа.

Заключение

Представленные схемотехнические решения позволяют создать высоконадежную интегрированную информационную среду управления кабины экипажа, при этом адаптация к конкретной кабине осуществляется программным способом, что позволяет учесть не только габариты кабины ЛА, но и ее конфигурацию.

Таким образом, экипаж получает возможность быстро и точно оценивать навигационную ситуацию за счет повышения ситуационной осведомленности и надежности аппаратного и программного обеспечения с использованием проекционных технологий.

Список литературы

1. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие / Информационно-управляющие системы. СПб: ГУАП, 2005, 144 с.

2. Парамонов П.П., Ильченко Ю.А., Жаринов И.О., Тарасов П.Ю. Структурный анализ и синтез графических изображений на экранах современных средств бортовой индикации на плоских жидкокристаллических панелях // Авиакосмическое приборостроение, 2004, №5, с.50-57.

3. Жаринов И.О., Емец Р.Б. Индикационное оборудование в авиации XXI-ого века // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (технического университета), 2003, вып.11, с.193-195.

4. Парамонов П.П., Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Многофункциональные индикаторы на плоских жидкокристаллических панелях: наукоемкие аппаратно-программные решения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2004, Вып.14, с.238–245.

5. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

6. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №2, с.1-17.

7. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010, №1, с.12-20.

8. Парамонов П.П., Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели композиционного проектирования авионики // Известия вузов. Приборостроение, 2010, Т.53, №7, с.5–13.

9. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы, 2010, №1, с.2-5.

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Борминский С.А., Солнцева А.В., Боранбаев М.С.
Научный руководитель: Скворцов Б.В., д.т.н., профессор
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: b80@mail.ru

Создание новых высокоэффективных систем производства топлив из органического сырья является одной из приоритетных задач современной науки и техники. В настоящее время большинство нефтехимических предприятий для получения и улучшения товарных нефтепродуктов используют процесс каталитического крекинга, для чего требуется применение высоких температур и давлений, что делает данный метод энергозатратным. Существуют разработки, связанные с модификацией нефтепродуктов методами электрической, магнитной, электромагнитной, оптической, и радиационной обработки нефтепродуктов [1]. Однако ни один из них не приводит к требуемым результатам по улучшению основных показателей качества, в частности, детонационной стойкости, теплоты сгорания, температуры воспламенения. Это связано с тем, что воздействие излучения производится на интегральный состав продукта, что изменяет все его показатели качества, в том числе не только в лучшую сторону. При этом режимы технологических установок подбираются эмпирическим путем, не имеют достаточного теоретического обоснования, и, как правило, сочетаются с другими видами физико-химической обработки топлива, что в итоге не приводит к рентабельности по критерию качество/энергозатраты.

В предлагаемой разработке впервые используется идея селективной модификации нефтепродукта, сущность которой заключается в том, чтобы импульсом электромагнитного излучения разорвать любую связь в любой молекуле и, тем самым, получить практически неограниченный ассортимент свободных радикалов, способных создавать новые молекулы. Если подобрать частоту электромагнитного сигнала в реакторе таким образом, чтобы она была резонансной для конкретной молекулы многокомпонентной смеси, то можно целенаправленно изменять и получать нужные свойства нефтепродукта практически без отходов производства.

Недостатком систем, получающих топливо термическим путем, является низкий КПД, связанный с нагревом продукта, при этом изменению подвергается весь компонентный состав, возникают дополнительные отходы производства, уменьшающие выход готового продукта. Недостатки прямой оптической и магнитной обработки топлив, которые проходят без нагревания, обусловлены их низкой эффективностью, так как не приводят к существенным изменениям основных показателей качества нефтепродуктов, таких как детонационная стойкость, плотность, вязкость.

Основная решаемая задача разработки - повышение эффективности процедуры электромагнитной модификации углеводородных топлив с целью достижения заданных параметров качества при минимальных энергетических затратах и отходах производства. Для решения поставленной задачи предлагается установка, структурная схема которой приведена на рис. 1.

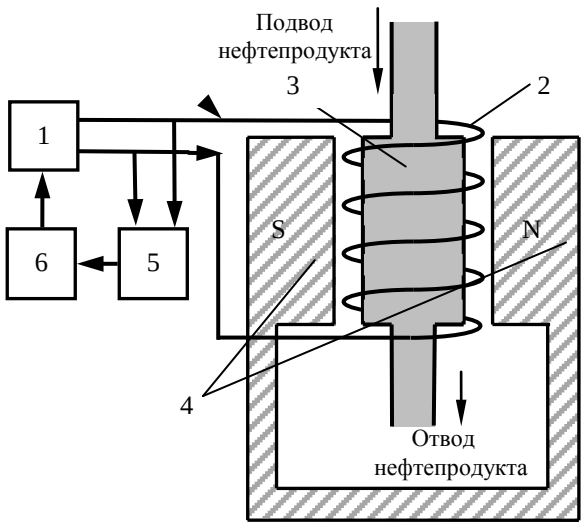


Рис. 1. Структурная схема установки для производства высококачественных нефтепродуктов

Устройство состоит из генератора электрических сигналов 1, выход которого подключен к индуктору 2, охватывающего емкость 3, расположенную между полюсами источника постоянного магнитного поля 4. Одновременно с индуктором к выходу генератора подключен блок измерения тока и коэффициента мощности 5, с выхода которого сигнал поступает в блок управления частотой 6, который непосредственно управляет частотой генератора.

Показатели качества нефтепродукта (плотность, вязкость, детонационная стойкость, испаряемость, температура вспышки и др.) определяются химическим составом и структурой молекул компонентов. Принцип модификации заключается в изменении конкретного показателя

качества нефтепродукта путем реструктуризации молекул группы компонентов в заданном объеме при помощи электромагнитного сигнала. Поскольку импульсом электромагнитного излучения можно разорвать любую связь в молекуле, можно получить практически неограниченный ассортимент свободных радикалов.

При подборе частоты электромагнитного сигнала в емкости таким образом, чтобы она была резонансной для конкретной молекулы многокомпонентной смеси, происходит целенаправленное изменение и получение нужных свойств нефтепродукта практически без отходов производства[2]. Блок измерения тока и коэффициента мощности позволяет измерять мощность поглощения энергии веществом. Известно, что

$$P=U\,I\cos\varphi \quad (1)$$

где U – известное напряжение генератора, I – измеряемый блоком 5 ток генератора, $\cos\varphi$ – измеряемый блоком 5 угол сдвига фаз между напряжением и током (коэффициент мощности).

Блок измерения тока и коэффициента мощности позволяет по рассчитанному по формуле (1) поглощению энергии оперативно находить частоты ядерного магнитного резонанса для требуемых компонентов топлива. Коэффициент мощности определяется с помощью фазометра, который выполнен по цифровой схеме на быстродействующей логике, что упрощает его настройку.

Принцип работы установки заключается в следующем. Емкость с нефтепродуктом 3 располагается внутри соленоида 2, расположенного между полюсами источника постоянного магнитного поля 4, магнитный поток которого ортогонален магнитному потоку соленоида 2, в котором с помощью генератора 1 и электрических элементов соленоида 2 создаётся переменное электромагнитное поле, воздействующее на обрабатываемый продукт.

Установка может функционировать в двух режимах. В ручном режиме оператор установки задает частоту и амплитуду электромагнитного воздействия на нефтепродукт. В автоматическом режиме частота и интенсивность генератора электрических сигналов 1 первоначально устанавливается по справочным данным таким образом, чтобы обеспечить ядерный магнитный резонанс для модификации нужной группы компонентов, определяющих требуемые показатели качества углеводородного топлива. Топливо модифицируется по заданному показателю (например, октановому числу) в результате прохождения через соленоид 2, который находится между полюсами источника постоянного магнитного поля 4, магнитный поток которого ортогонален магнитному потоку соленоида.

При работе происходит автоматическая подстройка частоты генератора на частоту ядерного магнитного резонанса с целью поддержания наибольшего поглощения энергии электромагнитных волн в веществе, при этом энергия генератора максимально расходуется на разрыв химических связей.

Предлагаемая установка может быть применено для модификации товарных топлив, таких как бензин, керосин, дизельное топливо и прочих энергоносителей для изменения плотности, вязкости, октанового числа, температуры вспышки и других параметров. Например, гексан (C_6H_{14}), один из компонентов бензина с октановым числом 24,8 путем электромагнитной модификации можно превратить в изогексан, который также является компонентом бензина и имеет ту же химическую формулу и октановое число 91,1, что повысит октановое число бензина в целом. Для возникновения ядерного магнитного резонанса молекул гексана авторами используется постоянное магнитное поле с индукцией 1,4±0.05 Тл и частотой электромагнитного поля 89560180±5 Гц, однако резонанс возможен и при других характеристиках полей.

Предложенная конструкция установки делает возможной автоматическую подстройку частоты генератора на частоту ядерного магнитного резонанса с целью поддержания наибольшего поглощения энергии электромагнитных волн в веществе, при этом энергия генератора максимально расходуется на разрыв химических связей, что приводит к значительному уменьшению энергетических затрат. Это определяет высокую эффективность производственного процесса, обусловленную отсутствием нагрева нефтепродукта и использованием резонансных эффектов физико-химических процессов в веществе.

Разработанная схема позволяет получить установку с максимальными функциональными возможностями для поиска эффекта ядерного магнитного резонанса в веществе и использовании данного эффекта для изомеризации нефтепродуктов. В настоящее время на полученной установке проводятся эксперименты, направленные на улучшение качества бензинов и дизельных топлив.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

1. Теоретические предпосылки электромагнитной селективной модификации нефтепродуктов на частотах ядерного магнитного резонанса / Скворцов Б.В, Борминский С.А., Солнцева А.В. / Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14. – №6. – С.198-205.

2. Борминский С.А. Скворцов Б.В. Солнцева А.В. Методы измерения количественных и качественных характеристик жидких энергоносителей. – Самара: АНО СНЦ РАН, 2012. – 222 с.

ОЦЕНКА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Бурмитских А.В.
Научный руководитель: Левицкий А.А., к. ф.-м. н.
Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники
E-mail: ABurmitskikh-RF12@mail.ru

Целью данной работы является разработка методики оценки виброустойчивости печатных узлов на основе упрощенных конечно-элементных моделей. Для этого решались следующие основные задачи: создавалась расчетная геометрическая трехмерная модель; определялись исходные данные – характеристики материалов, параметры закрепления; выполнялась оценка собственных резонансных частот объекта с использованием частотного анализа в программе конечно-элементного моделирования.

На следующем этапе проводилось упрощение исходной геометрической модели на основе оценки влияния отдельных элементов конструкции на ее динамические свойства, после чего выполнялся повторный расчет. Для оценки достоверности полученных результатов проводилось экспериментальное исследование реального объекта.

В качестве объекта исследования была выбрана компактная печатная плата *PCB SEPP 242* (*Single Edge Processor Package*) с размерами 125 мм × 57 мм, на которой установлены компоненты поверхностного монтажа, типоразмером 0402, 0603, 0805, 1206 и *BGA* компонент *GC80960*. Материал печатной платы – фольгированный стеклотекстолит марки *FR4*.

Для определения собственных резонансных частот печатной платы был использован алгоритм проведения расчетов в пакете *Ansys Workbench*, включающий подготовку материалов, предпроцессорную и постпроцессорную обработку, а также создание расчетной трехмерной модели.

Экспериментальное исследование печатной платы было выполнено на специализированной электродинамической виброустановке, состоящей из электродинамического преобразователя *ET-139* и линейного усилителя *PA-138*. На исследуемом образце устанавливались пьезоэлектрические датчики вибрации *AP203* (рис. 1).

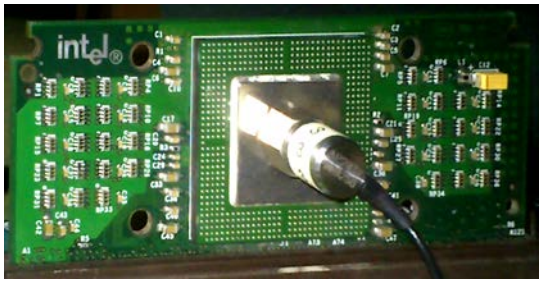


Рис. 1. Исследуемый печатный узел

На первом этапе формировалась геометрическая модель, включающая все размещенные на плате элементы (рис. 2).

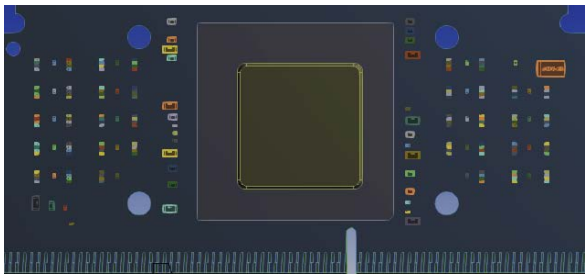


Рис. 2. Полная модель платы

Далее использовался алгоритм упрощения исходной модели, состоящий из нескольких этапов: первый – сравнительная оценка допустимых упрощений, включающая в себя анализ всех объектов модели на возможность упрощения их геометрии. При исключении компонентов их масса и вносимая ими жесткость учитывались путем соответствующей коррекции параметров основания платы. Для этого масса определялась как увеличение плотности, а для учета жесткости корректировался модуль упругости и коэффициент Пуассона объекта. Затем создавалась упрощенная модель (рис. 3).

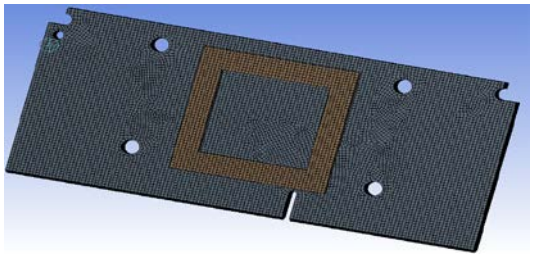


Рис. 3 Упрощенная модель

Следует отметить следующие достоинства используемого метода упрощения:

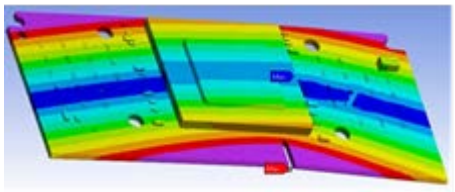
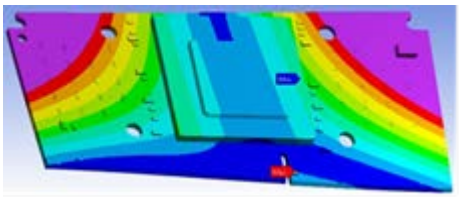
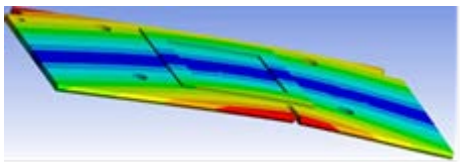
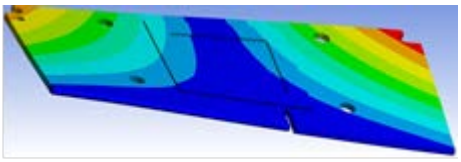
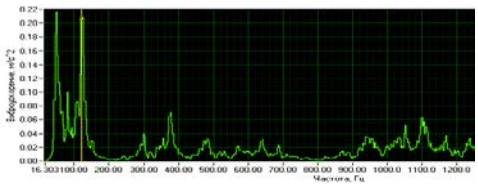
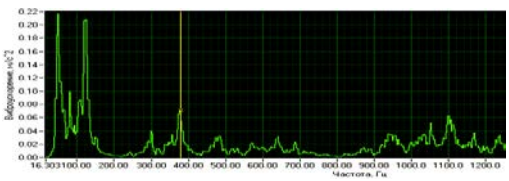
- в сравнении с обычным методом расчета подготавливаемая модель имеет более простую геометрию;
- процесс создания конечно-элементной сетки становится более гибким, поскольку отсутствуют объекты «сложной» геометрической формы;
- уменьшается время и загрузка компьютера в процессе моделирования.

При анализе упрощенных моделей учитывалось, что, точность конечно-элементного анализа

существенно зависит от правильного выбора типов и размеров конечных элементов. Более частая сетка требуется в местах наибольших деформаций. В тоже время более редкая сетка может применяться в зонах, где мало изменяются механические напряжения (постоянные деформации). Также стоит отметить, что точность результатов анализа уменьшается, если размеры соседних элементов сетки вблизи концентрации напряжений существенно различаются.

Для удобства оценки и сравнения полученных результатов все данные сведены в таблицу (см. табл. 1). Значения приводятся для первых двух резонансных частот. В таблице для исходной и упрощенной модели приведены не только найденные значения частот и форма изгиба, но и отклонение результатов расчета от экспериментальных данных в процентах. В строке «Эксперимент» таблицы представлены частотные зависимости виброускорения (вторая производная от амплитуды совершаемых перемещений), построенные на основе откликов, полученных с пьезодатчиков.

Таблица 1. Сводная таблица результатов

	Первая резонансная частота	Вторая резонансная частота
Исходная полная модель	 119 Гц (2%)	 365,6 Гц (4%)
Упрощенная модель	 120,5 Гц (1%)	 387,9 Гц (3%)
Эксперимент	 121 Гц	 378 Гц

Анализируя полученные результаты, а также такие критерии как время расчета и погрешность, можно сделать следующие выводы: предлагаемая методика упрощения определения резонансных частот при исследовании виброустойчивости печатных узлов с использованием конечно–элементного анализа позволяет адекватно определять резонансные частоты при сокращении затрат времени как на создание самой модели, так и на проведение расчета. Полученные результаты могут быть использованы в процессе проектирования и испытания блоков и модулей радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

1. R. A. Amy, G. S. Aglietti, G. Richardson, “Board-Level Vibration Failure Criteria for Printed Circuit Assemblies: An Experimental Approach“, *IEEE Trans. on Electronics Packaging Manufacturing*, vol. 33, no. 4, Oct. 2010, pp. 303–311.

2. R. A. Amy, G. S. Aglietti, G. Richardson, “Accuracy of simplified printed circuit board finite element models“, Microelectronics Reliability 50, 2010, pp. 86–97.

3. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения / Е.М.Морозов, А.Ю.Муйземнек, А.С.Шадский. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.

4. P. Geng, “Dynamic test and modeling methodology for BGA solder joint shock reliability evaluation“, in *Proc.* Electronic Components and Technology Conf., 2005, pp. 654–659.

5. Талицкий, Е. Н. Защита электронного оборудования от механических нагрузок. Теоретические основы / Е.Н.Талицкий. – Владимирский государственный университет, 2001. – 253 с.

СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАГНЕТРОНОМ

Волков А.В.
Научный руководитель: Буркин Е.Ю., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: a.volkov.tomsk@gmail.com

Магнетроны представляют собой важнейшие электронные приборы для генерации колебаний СВЧ большой мощности. Они применяются в передатчиках радиолокационных станций, в ускорителях заряженных частиц, для высокочастотного нагрева и в других случаях. В результате совместного действия электрического и магнитного полей на потоки электронов в магнетронах возникает генерация колебаний высокой частоты.

Существуют магнетроны, работающие на фиксированной частоте, и настраиваемые магнетроны, в которых изменяется собственная частота резонаторов. С этой целью для получения более коротких волн в резонаторы вводят медные цилиндры, которые уменьшают индуктивность, а для получения более длинных волн — металлические пластинки, увеличивающие электроемкость. Такие методы дают изменение частоты не более чем на 10—15%.

В данной работе решалась задача автоматической подстройки магнетрона путём изменения расстояния между пластинами резонатора. Изначально для подстройки частоты применялся механизм, приводимый в движение рукой, который подгибал или отгибал одну из пластин. Это не позволяло в автоматическом режиме настроить магнетрон на резонансную частоту и удерживать её, так как в процессе работы резонансная частота может несколько изменяться.

Для решения подобных задач используют системы экстремального регулирования (СЭР), которые способны находить и удерживать экстремальное значение некоторого параметра, характеризующего качество функционирования данного объекта. Определяющим обстоятельством в рассматриваемой системе является метод поиска экстремального значения функции. Для нахождения экстремума следует найти такое значение управляющего параметра $(x = x_0)$ при котором функция $U = \Phi(x)$ максимальна, чему соответствует условие

$$\frac{dU(x_0)}{dx} = 0 \qquad (1)$$

В нашем случае непосредственно измерить производную (1) не представляется возможным и поэтому она заменяется производными выходной и входной координат по времени

$$y = \frac{dU}{dt} \quad \text{и} \quad z = \frac{dx}{dt} \qquad (2)$$

С целью определения этих производных параметр x при помощи регулирующего органа принудительно изменяется с постоянной скоростью, т.е. осуществляется непрерывный независимый поиск. В зависимости от расположения выходной координаты U на характеристике U(x) и направления изменения параметра x (рис. 1) возможны четыре варианта знаков производных, отраженные в табл. 1. Варианты 1 и 3 указывают на то, что координата U приближается к экстремуму, варианты 2 и 4 — к удалению от него, т.е. неправильному направлению движения.

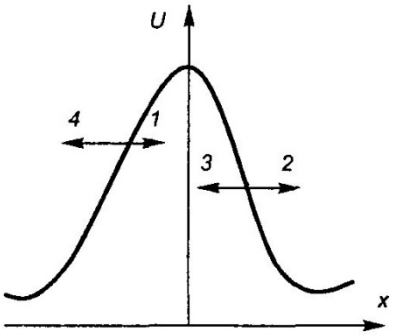


Рис. 1. Характеристика U(x) и направления изменения параметра x

Таблица 1. Возможные варианты знаков производных и направления движения

Номер варианта	$z = dx/dt$	$y = dU/dt$	Оценка движения
1	+	+	Правильно
2	+	-	Неправильно
3	-	+	Правильно
4	-	-	Неправильно

Поэтому при вариантах 2 и 4 следует произвести реверс регулирующего органа, т.е. поменять направление изменения координаты x.

В рассматриваемой экстремальной системе различают два этапа работы: поиск экстремума и удержание управляемого параметра относительно найденного экстремального значения. После нахождения экстремума система продолжает функционировать, непрерывно отслеживая возможные флуктуации управляемого параметра. Это приводит к автоколебаниям относительно экстремума, что обусловливает амплитудную модуляцию управляемого параметра. Частота и амплитуда этих автоколебаний максимально уменьшаются благодаря специальному алгоритму, который постепенно уменьшает шаг управляющего параметра и увеличивает временной интервал между шагами, после нескольких последовательных смен направления регулирующего органа. Таким образом, система переводится в режим удержания экстремума. Если величина управляемого параметра

значительно меняется в таком режиме, то система снова переходит в режим поиска.

Для обеспечения обратной связи используется датчик излучения. Электрический сигнал на выходе датчика прямо пропорционален излучению магнетрона и имеет амплитуду 100 мВ при частоте сигнала 10 кГц и длительности импульса 1 мкс. Недостаточно точное измерение амплитуды импульса может привести к ложным реверсам управляющего органа, вследствие этого увеличится время поиска экстремума. Для повышения точности измерений было решено использовать двухкаскадный пиковый детектор на операционных усилителях (ОУ) (рис. 2). Сигнал с датчика поступает на вход пикового детектора, конденсатор С заряжается до амплитудного значения импульса. Одновременно с этим на вывод внешнего прерывания микроконтроллера поступает сигнал синхронизации (Sync), для запуска измерения напряжения на выходе пикового детектора. Транзистор Q1 предназначен для сброса пикового детектора.

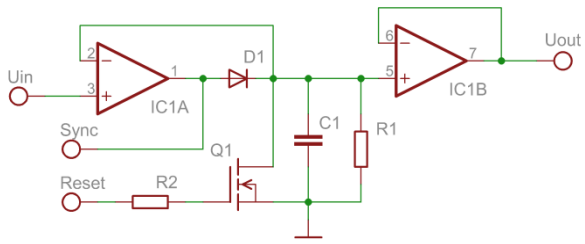


Рис. 2. Пиковый детектор на основе ОУ

В качестве механизма подстройки используется линейный шаговый двигатель ELA35-115, заменяющий стандартный регулировочный механизм магнетрона. Поворот ротора шагового двигателя на один шаг приводит к пропорциональному линейному перемещению штока актуатора. Это позволяет с высокой точностью и скоростью регулировать расстояние между пластинами резонатора.

Главным элементом системы является микроконтроллер AVR со встроенным аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) и интерфейсом USART для обмена информацией. Микроконтроллер выполняет следующие задачи:

- Сброс пикового детектора
- Измерение напряжения на выходе пикового детектора
- Определение производных и решение о необходимости реверса органа управления
- Манипулирование органом управления
- Обмен информацией с компьютером или другим устройством

Для сопряжения системы управления с компьютером используется интерфейс RS485. Предусмотрен как полностью автоматический режим работы с поиском и удержанием экстремума, так и ручной режим, позволяющий настроить нужное положение пластины резонатора с компьютера. Система так же передаёт в компьютер значение амплитуды сигнала с датчика, что позволяет судить о текущей величине излучения магнетрона.

Таким образом, представленная система даёт возможность управлять магнетроном с высокой точностью, как в автоматическом, так и в ручном режиме, что позволяет полностью автоматизировать работу магнетрона.

Список литературы:

1. Каганов В.И. Радиоэлектронные системы автоматического управления. Учебное пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2009 - 432 с.

2. Хоровиц П., Хил л .У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.1. Пер. с англ. - 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Мир, 1993.

3. А. Дж. Пейтон, В. Волш. Аналоговая электроника на операционных усилителях — М.: БИНОМ, 1994 - 352 с.

4. Либерзон Л.М., Родов А.Б. Системы экстремального регулирования. – М.: Энергия, 1965 – 160 с.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СНЯТИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ

Волков А.В., Силкин Д.С.
Научный руководитель: Гуляев И.В., д.т.н. профессор
Мордовский государственный университет, 430000, Россия, г. Саранск, ул. Б.Хмельницкого , 39
E-mail: elsoldador@rambler.ru

С развитием техники и промышленности возрастает потребность в мощных преобразовательных устройствах. Мощность некоторого современного промышленного оборудования достигает десятков мегаватт. Для управления такими мощностями требуются мощные силовые ключи.

Наиболее мощными полупроводниковыми приборами на сегодняшний день являются однооперационные тиристоры [1]. Эти приборы обладают большой пропускной способностью по току способны запирать напряжение до 10 кВ, что определяет их широкое применение в низкочастотных преобразователях. Например, в таких устройствах как выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП) серии ВИП-2200, ВИП-4000 и ВИП-4000М [2].

Часто в современной схемотехнике для увеличения блокирующей способности применяется последовательное соединение вентилей. При этом из-за различий в параметрах структуры возникает разница напряжений, численно равная (для двух последовательно соединённых вентилей) $\frac{2\Delta Q_{rr}}{C}$, где ΔQ_{rr} – разница между зарядами обратного восстановления тиристоров, а C - емкость конденсатора демпфирующей цепи, включаемой параллельно с тиристором [3]. Кроме того, при запирании вентиля в схемах с индуктивной нагрузкой наблюдаются выбросы напряжения большой амплитуды. Эти выбросы связаны с формой тока обратного восстановления тиристоров. Для расчёта этих перенапряжений крайне важно иметь возможность снять и проанализировать характеристику обратного восстановления тиристора.

Требования, предъявляемые к измерительным установкам, способным снимать характеристику обратного восстановления, сформулированы в ГОСТ 24461-80 [4]. Схемная реализация этих требований представлена на рис. 1.

На рис.1 источник Iпр – это источник, задающий прямой ток через тиристор. Тиристор закрывается по замыканию ключа S. Скорость спада прямого тока можно задавать, изменяя величину индуктивной нагрузки Lx с учётом формулы:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_{об}}{Lx} \qquad (1)$$

$V_{об}$ - напряжение источника обратного напряжения Vобр. Согласно ГОСТ 24461-80 $V_{об}$ = 100В. С целью проверки работоспособности схема рис. 1 была смоделирована в программе Saber. Результат моделирования представлен на рис. 2.

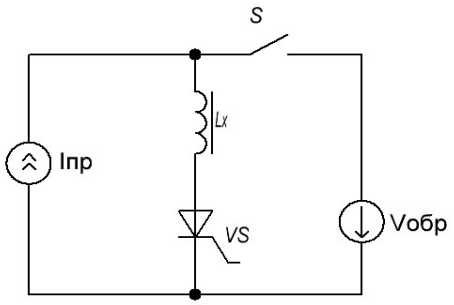


Рис. 1 – Схема для получения характеристики обратного восстановления

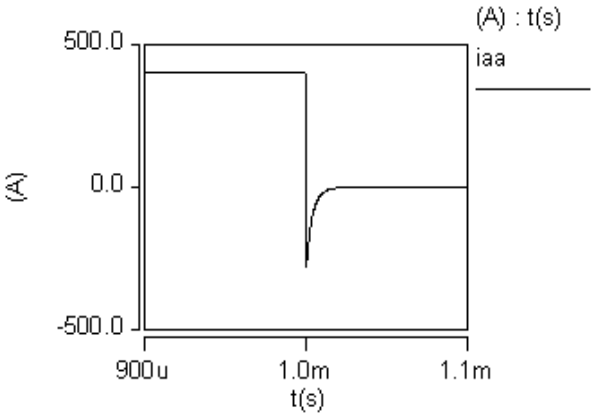


Рис. 2 – Смоделированный ток обратного восстановления

Функциональная схема установки, позволяющей снимать и анализировать характеристику обратного восстановления при различных значениях прямого тока и скорости спада прямого тока, приведена на рис. 3.

На функциональной схеме помимо уже указанных элементов можно видеть измерительную и управляющую части. Измерительная часть состоит из датчика тока ДТ, передающего измеренное значение тока через аналого-цифровой преобразователь в персональный компьютер ПК для последующей обработки. Управление работой схемы осуществляется программируемым логическим контроллером ПЛК «Овен» [5] через включение драйверов тиристора и ключа. Использование контроллера позволяет добиться большей гибкости в управлении системой в процессе измерения.

УИТ - универсальный источник тока, устройство для формирование заданного значения тока в задан

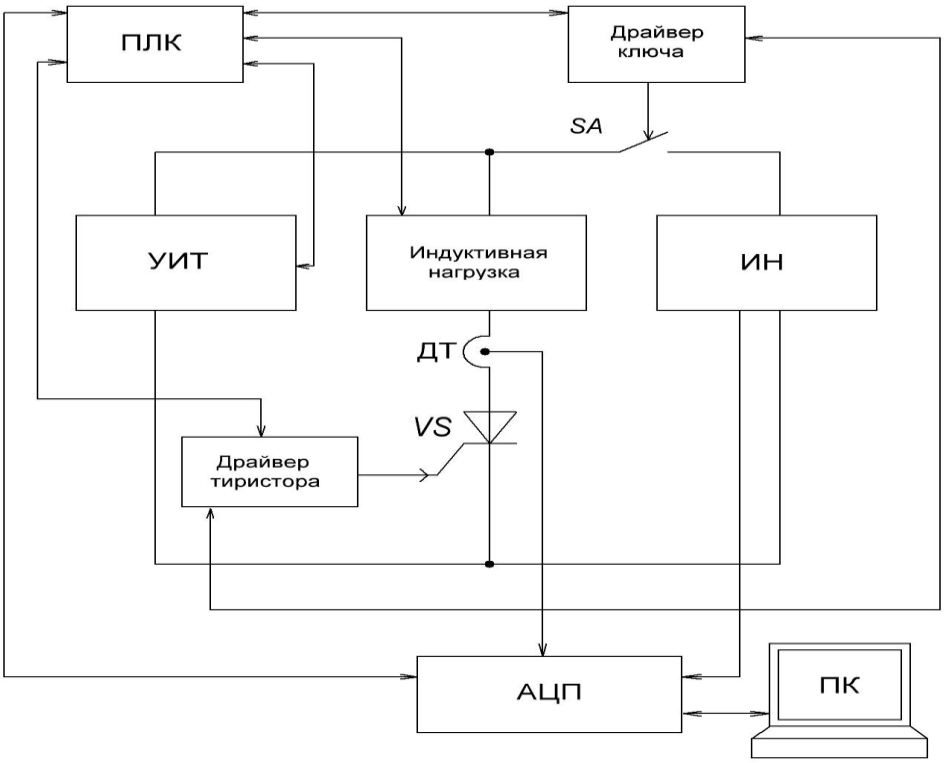


Рис. 3 – Функциональная схема установки для снятия характеристики обратного восстановления

ный момент времени по сигналу с ПЛК. В качестве индуктивной нагрузки для тиристора служит дроссель специальной конструкции с отпайками и коммутирующими реле, управляемыми по логическому сигналу с ПЛК. ИН источник для задания обратного напряжения на тиристоре, с последующим формированием значения Vобр. для обработки на ПК. Драйвер ключа представляет из себя устройство, способное по сигналу с ПЛК замкнуть ключ SA. Драйвер тиристора – устройство, по сигналу ПЛК подающее на затвор тиристора сигнал, достаточный для его включения.

В качестве датчика тока используется ITL 4000-S [6] фирмы LEM. Следует отметить, что сигнал, полученный с датчика тока нуждается в масштабировании, для того чтобы согласовать его с АЦП. Значения тока, формируемого в УИТ, и $\frac{dI}{dt}$, определяемое индуктивной нагрузкой, задаётся через ПЛК и также передается на АЦП. Связь ПК с АЦП осуществляется по протоколу USART через преобразователь интерфейса USB-USART, выполненный на последовательном универсальном преобразователе интерфейса на микросхеме FT232RL.

Рассмотренное выше устройство для измерения характеристики обратного восстановления тиристора может найти широкое применение в области преобразовательной техники для расчета перенапряжения, возникающих в тиристорах. Область применения тиристоров в групповых соединениях достаточно широка, поэтому преобразователи частоты и выпрямители рассчитанные на мощности от 0,5 МВт-120МВт, выполненные с таким соединением будут нуждаться в достаточно точном подборе тиристоров по заряду обратного восстановления и расчете снабберных цепей.

Список литературы

1. Semiconductor Power Devices, Physics, Characteristics, Reliability / Lutz J., Schlangenotto H., Scheuermann U. и др. – Heidelberg : Springer, 2011. - 538 с. : ил.

2. Выпрямительно-инверторный преобра-зователь серии ВИП-2200, ВИП-4000 и ВИП-4000М [Электронный ресурс] // Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги. URL: http://dcv.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=80 (дата обращения: 18.02.2014).

3. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках / М. И. Абрамович, В. М. Бабайлов, В. Е. Либер и др. - М. : Энергоатомиздат, 1992. - 432 с. : ил.

4. ГОСТ 24461-80. Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний [Текст]. – Введ. 1982-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1990 – 65 с. : ил

5. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160: краткое описание [Электронный ресурс] // Сайт фирмы ОВЕН. URL: http://www.owen.ru/ (дата обращения: 18.02.2014)

6. Current Transducer ITL 4000-S: справочные данные [Электронный ресурс] // Сайт фирмы LEM. URL: http://www.lem.com/docs/products/itl%204000-s.pdf (дата обращения 18.02.2014).

ВЛИЯНИЕ НЕПРАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ

Герасимов С.И.
Научные руководители: Желбаков И.Н., д.т.н., профессор; Новиков В.А., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14
E-mail: ger_si@inbox.ru

Введение

Задача измерения объемного расхода жидкости в настоящее время получает все большее значение [1]. С этой целью используются жидкостные расходомеры и счетчики количества жидкости [1]. В современной расходометрии значительное место занимают ультразвуковые приборы измерения расхода [1]. В частности, на предприятиях и объектах ЖКХ широкое применение получили времяимпульсные ультразвуковые расходомеры [2]. В данной статье рассматриваются приборы, предназначенные для работы с напорными трубопроводами и имеющие накладные (первичные) электроакустические преобразователи (ЭАП).

Описание принципа работы расходомера

В общем случае измерение расхода времяимпульсным методом [1, 2] сводится к определению τ — разности времен прохождения акустических (ультразвуковых) сигналов против потока и по потоку жидкости в трубопроводе (см. рис. 1). Иначе параметр τ можно пояснить как сдвиг по времени между акустическими сигналами. При известных внутреннем диаметре трубопровода D и скорости распространения акустических колебаний в неподвижной контролируемой среде c, скорость потока V_L (осредненную по линии акустического луча и длине l, где $l = L\cos\alpha$) можно определить исходя из приведенного выражения:

$$V_L = \frac{\tau \cdot c^2}{2 \cdot L \cdot \cos\alpha}, \qquad (1)$$

где L — расстояние между ЭАП по прямой линии (см. рис. 1), равное $D/\sin\alpha$; α — угол между направлением распространения (или ввода в поток) акустических волн и осью трубопровода.

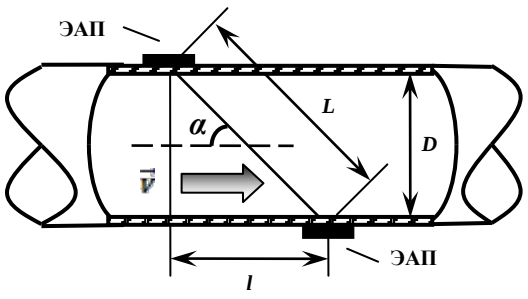


Рис. 1. Иллюстрация принципа измерения расхода жидкости времяимпульсным методом

Объемный расход Q можно вычислить из произведения осредненной по сечению потока скорости V_S (в простейшем случае $V_S = V_L$ [1]) и площади этого сечения. Запишем итоговое выражение, определяющее объемный расход:

$$Q = \frac{\pi \cdot V_L \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot \tau \cdot c^2 \cdot D^2}{4 \cdot L \cdot \cos\alpha}. \qquad (2)$$

Суть проблемы

Кроме ранее перечисленных типов расходомеров существуют такие, где ответственность за правильность установки ЭАП на трубопровод в силу их конструктивных особенностей полностью возлагается на монтажника — специалиста, устанавливающего расходомер на объекте. При этом оператор должен следовать инструкции по установке, а отклонение от этих требований или их невыполнение может привести к возникновению недопустимо больших погрешностей измерений. Одной из возможных ситуаций может стать несоответствие угла наклона линии, соединяющей ЭАП относительно оси трубопровода, номинальному α. Это повлечет за собою изменение значения вычисляемой скорости V_L, что будет прямо влиять и на показания расхода. В результате может возникнуть дополнительная погрешность измерения расхода жидкости [3].

Оценка погрешности

Попытаемся оценить указанную погрешность. Как следует из (1), вычисленная скорость потока зависит от расстояния L. При смещении одного ЭАП относительно другого по оси трубопровода на длину Δl от номинального расстояния l действительное расстояние станет равным l'. Т.е. вместо значения l, которое используется при вычислении, реально следует учитывать l'. Тогда расстояние L, в свою очередь, заменится на L' (см. рис. 2).

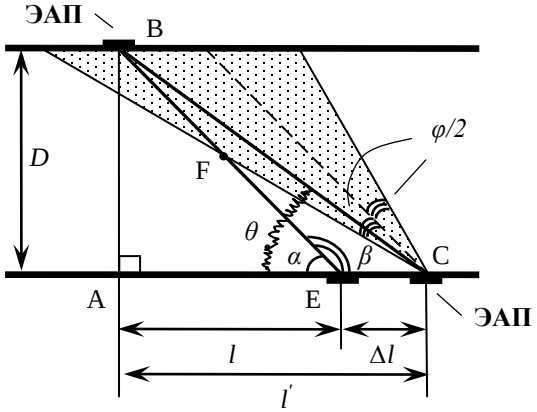


Рис. 2. Иллюстрация к пояснению расчета L' в зависимости от расстояния смещения ЭАП

При оценке рассматриваемой погрешности следует учесть, что акустический луч геометрически представляет собой не отрезок прямой линии, а конус (вследствие рассеяния). В связи с этим,

для узконаправленных ЭАП, как правило, помимо нормирования угла α также нормируется [4] и угловая расходимость акустического луча или угол рассеяния φ. Согласно [4], угол φ часто не превышает 10-15°. Таким образом, угловая расходимость акустического луча относительно направления ввода в поток акустических колебаний составит $\varphi/2$ по обе стороны (см. рис. 2) от этой линии ввода. Отмеченное обстоятельство следует учитывать при выполнении дальнейших расчетов.

Чтобы найти L' требуется вычислить длину стороны AC треугольника ABC (см. рис. 2) при известном угле BAC, равном 90°. Получим:

$$L' = \sqrt{D^2 + \left(l'\right)^2}\ . \qquad (3)$$

В реальности действительный объемный расход Q' в данном случае будет отличен от теоретического; для его определения необходимо в выражение (2) вместо L подставить L', а вместо угла α — угол θ. В силу равенства $l' = l + \Delta l$, указанный угол можно найти следующим образом:

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{\left(l + \Delta l\right)}\right). \qquad (4)$$

В предположении о постоянстве значений временного сдвига τ, скорости акустических колебаний c, диаметра D и угла α (примем его равным 45°), а также с учетом подстановки выражений (3) и (4) в выражение (2), получим конечное выражение (5) оценки относительной дополнительной погрешности измерения расхода при неправильном расположении ЭАП на трубопроводе.

$$\delta_{\mathrm{Q}} = \frac{\mathrm{Q} - \mathrm{Q}'}{\mathrm{Q}'} \cdot 100\% = \left(\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\theta} - 1\right) \cdot 100\% = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% \qquad (5)$$

Продолжая рассуждения, можно предположить, что будет существовать некоторая критическая величина смещения $\Delta l_{\text{кр}}$, при которой дальнейшее смещение ЭАП приведет к потере акустического сигнала другим ЭАП, поскольку, как было сказано ранее, каждый ЭАП имеет нормированный конечный угол θ. Другими словами, если смещение Δl в абсолютном выражении окажется больше некоторого $\Delta l_{\text{кр}}$, то акустические волны от одного ЭАП просто не попадут на поверхность другого ЭАП, и, фактически, произойдет потеря работоспособности прибора.

$$\Delta l_{\text{кр}} = D \cdot \left[\pm \operatorname{ctg}\left(\alpha \mp \varphi/2\right) \mp \operatorname{ctg}\alpha\right]. \qquad (6)$$

Выражение (6) характеризует величину максимально возможного смещения одного ЭАП относительно другого по оси трубопровода при положительных и отрицательных смещениях ЭАП относительно его теоретического положения.

Отобразим график (см. рис. 3) относительной дополнительной погрешности измерения расхода согласно представленному выражению (5) с учетом ограничений (6). Угол рассеяния φ примем равным 15°. Смещение Δl будем откладывать в относительных единицах — долях диаметра n, т.е. $\Delta l = n \cdot D$, где n — безразмерная величина.

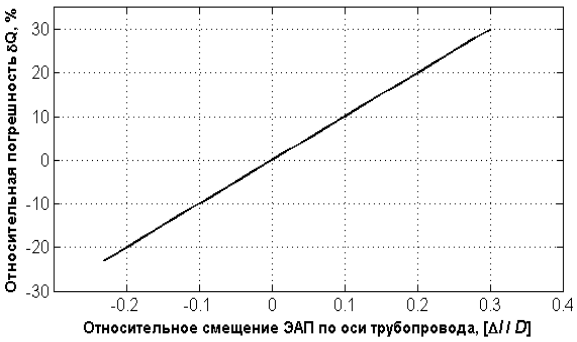


Рис. 3. График относительной погрешности измерения расхода жидкости

Полученная зависимость на рис. 3 является близкой к линейной. В завершение следует пояснить, что вычисление скорости потока будет происходить с ошибкой, поскольку расстояние L' отлично от L, в действительности объемный расход будет оставаться неизменным.

Заключение

В рамках данной работы получено аналитическое выражение оценки дополнительной погрешности измерения расхода жидкости вследствие неправильного расположения ЭАП на трубопроводе по отношению друг к другу вдоль оси трубопровода. Установлено, что в этом случае значение дополнительной погрешности может многократно превысить нормируемую основную погрешность прибора. Можно заключить, что при эксплуатации подобных приборов высокой сложности существует множество факторов, влияющих на погрешность измерения. В качестве мер по уменьшению этого влияния на показания расхода можно привести соблюдение требований монтажа ЭАП. Стоит заметить, что во многих подобных приборах корректность установки ЭАП [2] дополнительно контролируется уровнем принимаемого акустического сигнала. Таким образом, если требования монтажа ЭАП будут грубо нарушены, то это будет незамедлительно обнаружено.

Список литературы

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. — 5-6 изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2004. — 412 с.

2. Громов Г.В. Ультразвуковой накладной расходомер для гомогенных сред // Приборы и системы управления. — М.: Машиностроение, 1997. № 11. С. 17–18.

3. Устьянцева О.Н. Погрешности измерений расхода воды // Мир измерений. — М.: Изд. РИА «Стандарты и качество», 2008. № 9. С. 49–50.

4. Ультразвуковые датчики и преобразователи Olympus NDT [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.olympus-ims.com/, свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 18.02.2014).

КОМПАКТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ МЫШЬ «НА ПАЛЕЦ» TOUCHSIDE

Горохова Е.С., Солопченко С.А.
Научный руководитель: Мартынов Я.А., ассистент кафедры АиКС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: s.solopchenko@gmail.com

Введение

Сегодня жизнь современного человека тесно связана с компьютером, поэтому очень важно, чтобы работать с ним было комфортно и удобно. Однако при этом мы сталкиваемся с рядом проблем. Как правило, попеременное использование клавиатуры и мыши отнимает время. Также часто возникают ситуации, когда использовать мышь затруднительно, например, в дороге или при работе с компьютером на природе.

В связи с этим, была произведена модернизация компьютерной мыши. Разработанное устройство представляет собой компактную оптическую мышь, которая одевается на указательный палец и управляется за счет его движения. В результате данное устройство, названное TouchSide, позволяет работать на любой поверхности и не требует времени на перенос руки от клавиатуры к мыши и обратно.

Устройство будет полезно широкой аудитории. С одной стороны, школьникам, студентам и офисным сотрудникам, с другой стороны, людям, которые работают с компьютером на природе, в транспорте и иных местах, где сложно найти ровную поверхность для управления мышью.

Рис. 1. TouchSide на руке пользователя

Схема устройства мыши Touchside

Теперь остановимся подробнее на схеме устройства. TouchSide состоит из нескольких частей. Пластиковый корпус содержит плату с микроконтроллером, передающим модулем, а также аккумулятор. Он крепится на предплечье с помощью браслета. Сигнальные линии соединяют микроконтроллер с матрицей, закрепленной на кончике пальца, которая помещена для удобства в другой пластиковый корпус, сконструированный и напечатанный на 3D-принтере. Также корпус содержит кнопку, расположенную под подушечкой пальца. При нажатии на неё происходит событие, аналогичное щелчку левой кнопки мыши. Слева на корпусе находится кнопка выключения устройства. Внешний вид TouchSide и его составных частей представлен на рисунках 1, 2, 3.

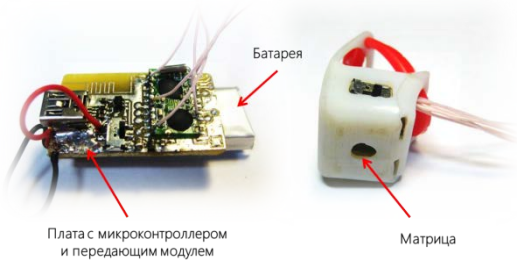


Рис. 2. Устройство TouchSide

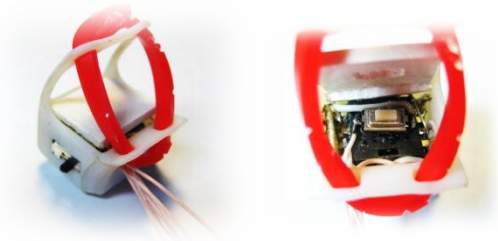


Рис. 3. Устройство кнопки TouchSide

Первым необходимым этапом создания устройства было проектирование и изготовление платы. Проектирование осуществлялось при помощи САПР DipTrace (рисунок 4).

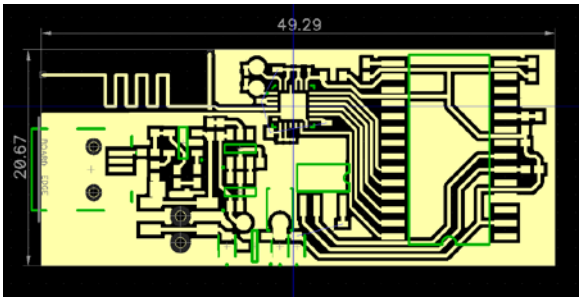


Рис. 4. Проект платы в САПР DipTrace

Изготовление платы производилось методом травления (рисунок 5) [1]. На фотобумаге был напечатан проект платы. Затем он крепился на фольгированный стеклотекстолит.

Стеклотекстолит был помещен в раствор хлорного железа, по истечению некоторого времени не защищенная тонером фольга растворилась, оставшиеся, защищенные тонером линии образовали дорожки платы.

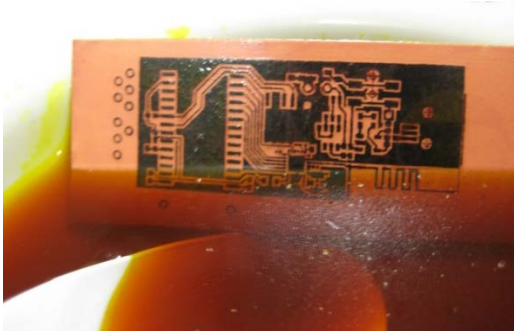


Рис. 5. Процесс травления платы

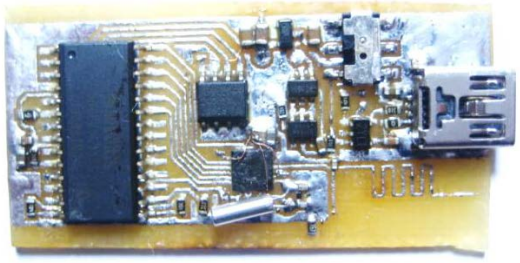


Рис. 6. Запаянная печатная плата

Последний этап создания платы – распайка деталей, необходимых для функционирования TouchSide.

Плата содержит микроконтроллер, чип памяти, содержащий программу для микроконтроллера, передающий модуль, а также MiniUSB разъем для зарядки аккумулятора TouchSide.

Проектирование корпуса производилось в 3D системе автоматизированного проектирования (САПР) Autodesk Inventor (рисунок 7).

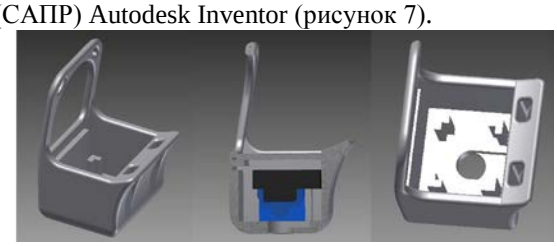


Рис. 7. Сборка корпуса в САПР Autodesk Inventor

Таким образом, принцип работы устройства TouchSide аналогичен принципу работы компьютерной мыши. Изображение опорной поверхности фокусируется на светочувствительной матрице при помощи линзы. Контроллер обрабатывает полученную последовательность изображений, определяя вектор перемещения устройства по поверхности. Эта информация передается на компьютер посредством беспроводного канала, затем она обрабатывается, и в результате мы наблюдаем движение курсора по экрану.

Сравнительный анализ аналогов

На рынке есть несколько аналогов устройства TouchSide. Рассмотрим несколько из них.

1. Устройство компании «Мастер Кит», которое имеет достаточно большие габариты и подключается к компьютеру с помощью шнура, что сильно ограничивает рабочую поверхность (рисунок 8).

Рис. 8. Мышь «на палец» компании «Мастер Кит»

2. Разработка студентов Вустерского Политехнического Института (WPI) из США (рисунок 9): данное устройство использует набор сенсоров для отслеживания положения руки в пространстве, однако его стоимость составляет около $150 ≈ 5400 руб.

Рис. 9. Устройство WPI MagicMouse

Каждый из рассмотренных выше аналогов имеет свои достоинства и недостатки. Как известно стоимость и мобильность устройства, пожалуй, одни из важных параметров для потребителя. Созданное устройство TouchSide сочетает в себе мобильность и невысокую цену, что будет интересно потребителям.

Заключение

В ходе реализации проекта TouchSide создан один работающий опытный образец нового устройства ввода. Стоит отметить, что созданный образец имеет свои преимущества и недостатки, которые планируется исправить при дальнейшем развитии проекта. Также конструкция модели может быть улучшена за счет дизайна, уменьшения веса, добавления функции прокрутки и правой кнопки мыши.

Однако, несмотря на все недостатки, проект был отмечен дипломом II степени на «Ярмарке проектов Элитного Технического Образования ТПУ», что подчеркивает интерес к данному устройству. Также отделом Элитного Технического Образования Томского Политехнического Университета был выделен сертификат номиналом 5000 рублей на дальнейшее развитие проекта, что является показателем актуальности разрабатываемого устройства.

Список использованной литературы:

1. Изготовление печатных плат [Электронный ресурс]. – URL: http://cxem.net/master/11.php (дата обращения: 20.02.2014).

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА НАКОПЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

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

Использование в современной авиационной и космической технике, а также других отраслях промышленности жидкостных систем различного назначения влечет за собой проблему контроля их технического состояния, в особенности агрегатов, содержащих узлы трения. Одним из наиболее перспективных методов диагностики жидкостных систем, не требующих остановки системы, является мониторинг параметров дисперсной фазы, содержащейся в рабочей жидкости.

Для оценки концентрации и гранулометрического состава металлических частиц износа в жидкости гидравлических систем перспективно применение средств электромагнитного (вихретокового) контроля [1].

Авторами предложена конструкция вихретокового датчика, позволяющая применять метод когерентного накопления для повышения отношения сигнал/шум [2]. Метод когерентного накопления 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. В работе [3] показано, что использование корреляционного анализа позволяет достичь относительной погрешности определения положения точки отсчета 7%. В связи с этим, необходимо произвести оценку влияния ошибки определения точки отсчета на эффективность когерентного накопления сигнала и, как следствие, на оценку параметров частиц износа.

На рисунке 1 приведен сигнал дифференциального вихретокового датчика, полученный в результате моделирования системы «датчик-частица износа» методом конечных элементов в программном комплексе Ansoft Maxwell 16.0 на суперкомпьютере Сергей Королев.

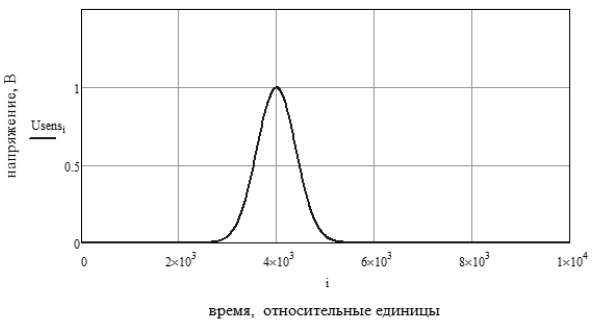


Рисунок 1 – Сигнал с ВТП

Параметры моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 Параметры моделирования ВТП

Параметр	Значение
Материал частицы	медь
Форма частицы	шар
Диаметр частицы, мкм	90
Частота возбуждающего сигнала, МГц	10

Для анализа влияния величины задержки, возникающей при движении частицы износа по каналу ВТП на эффективность когерентного накопления будем варьировать среднеквадратичное отклонение величины задержки. Величину вариации выберем, исходя из характерных размеров ВТП и профиля распределения скоростей в канале ВТП (рис.2)

Анализ профиля скоростей показывает, что в канале ВТП цилиндрической формы диаметром 1мм скорость движения частиц износа максимальна на геометрической оси канала и составляет 2.8 м/с. При изменениях скорости в канале ВТП в пределах 10% [1] и среднем расстоянии между соседними измерительными обмотками ВТП 10мм диапазон вариации положения фронта импульса на временной оси находится в пределах 3,25..3,97мс.

При моделировании подразумевалось, что смещение фронта импульса подчиняется нормальному закону распределения, математическое ожидание величины смещения принято равным 0с. При этом величина среднеквадратичного отклонения (СКО) смещения варьировалась в пределах 0...0,4 мс.

На рисунке 2 приведены сигналы с различным СКО смещения во времени.

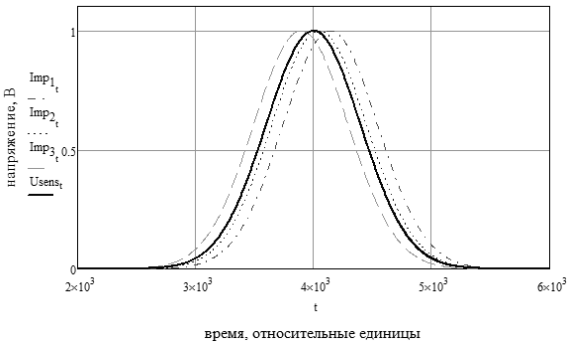


Рисунок 2 – Сигналы с различным временем задержки

Как показано в работе [2], целесообразно использовать ВТП с 10…20 измерительными обмотками.

Когерентное усреднение сигналов, смещенных друг относительно друга во времени приводит к искажению амплитуды и фазы результирующего сигнала (см. рисунок 3).

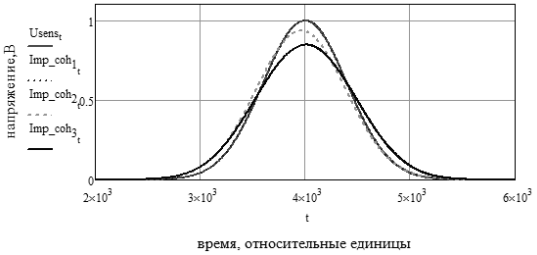


Рисунок 3 – Исходный импульс и набор когерентно накопленных импульсов

Для оценки расхождения формы искомого сигнала и когерентно накопленных сигналов воспользуемся парным коэффициентом корреляции [3]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Usens_i - \overline{Usens}) \cdot (\mathrm{Im}\,p_coh_i - \overline{\mathrm{Im}\,p_coh})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Usens_i - \overline{Usens})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{Im}\,p_coh_i - \overline{\mathrm{Im}\,p_coh})^2}}$$

где Usens – искомый сигнал с ВТП,

Imp_coh – результат накопления.

На рисунке 4 приведена функция Fcorr(t), равная

$$Fcorr_t = 1 - r_t$$

где r_t - величина ВКФ для разных значений СКО смещения импульса.

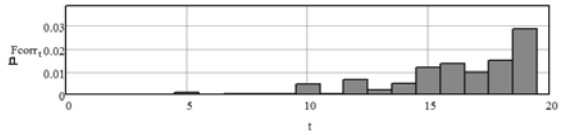


Рисунок 4 – Фунция $Fcorr_t$

Видно, что парный коэффициент корреляции близок к единице. Т.к. |r| > 0,95 для всех значений СКО, то в соответствии с [4] все когерентно накопленные импульсы и искомый импульс являются отлично коррелирующими функциями. Таким образом, рассматриваемый диапазон временных смещений сигналов с измерительных обмоток ВТП не оказывает значимого влияния на форму искомого импульса при когерентном накоплении сигналов.

Построим зависимость относительной погрешности измерения размера частицы от величины СКО задержки импульса с измерительной обмотки ВТП и от размера частицы. Данная зависимость приведена на рисунке 5.

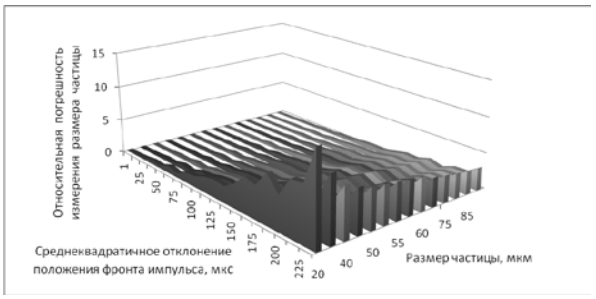


Рисунок 5 – ОПИ размера частицы

На рисунке 5 видно, что ОПИ увеличивается с уменьшением размера частиц и с ростом СКО задержки сигнала. При этом максимальная относительная погрешность составляет 13% и наблюдается для частиц диаметром 20-25 мкм при СКО джиттера фронта импульса 250 мкс.

Таким образом, для многообмоточного ВТП с диаметром канала 1мм при изменениях скорости течения жидкости в канале ВТП в пределах 10% от максимальной (2,8м/с) относительная погрешность определения размера частицы износа с характерным диаметром от 90мкм и выше при использовании метода когерентного накопления составляет не более 3.2%, для частиц с характерным диаметром 25мкм величина ОПИ возрастает до 13%. При этом практически не искажается форма импульса с измерительной обмотки ВТП.

Список литературы

1. Кудрявцев, И.А. Повышение разрешающей способности и чувствительности фотоэлектрических пребразователей встроенного контроля параметров дисперсной фазы для систем управления: автореферат дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.13.05. - Самара, 1999г.

2. Гудков С.А. Метод когерентного усреднения в приложении к задачам электромагнитного контроля параметров дисперсных сред/ С.А. Гудков, И.А. Кудрявцев, П.А. Дергачев//Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т.12, №4. С.30-35.

3. Гудков С.А. Метод обработки сигналов вихретокового датчика контроля параметров дисперсных сред //Современная техника и технологии «СТТ-2012». 2012. Т.1. С.183-184.

4. Гайданин А.Н. Применение корреляционного анализа в технологических расчетах/ А.Н. Гайданин, С.А. Ефремова, Н.Н.Бакумова // ВолГТУ. 2008. 16с.

НАШЛЕМНАЯ СИСТЕМА ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ И ИНДИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ОПТИКО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Великанов А.В., Жаринов И.О., Изергин К.М.
Научный руководитель: Парамонов П.П., д.т.н., профессор
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

Введение

При создании перспективных летательных аппаратов (ЛА) большое внимание уделяется оснащению ЛА современным высокоточным и многофункциональным оптико-электронным и радиоэлектронным оборудованием. К таким системам, в частности, относится нашлемная система целеуказания и индикации (НСЦИ). НСЦИ (см. рис.1) предназначена для определения угловых координат линии визирования пилота по положению шлема (головы) и формирования в его поле зрения коллимированного изображения графической и телевизионной информации на фоне закабинного пространства.

Рис.1. Нашлемная система целеуказания и индикации (пример).

В полете НСЦИ обеспечивает пилоту [1, 2] отображение в его поле зрения (непосредственно перед глазом) пилотажно-навигационной информации. При посадке НСЦИ обеспечивает информационную поддержку пилоту о переходе фазы полета ЛА от «слепого» полета к визуальному полету с упреждением. Основные технологии, на основе которых создаются подсистемы позиционирования НСЦИ, следующие: электромагнитная; инерциальная; оптическая.

1. Принцип построения НСЦИ с оптико-инерциальной подсистемой позиционирования

НСЦИ представляет собой совокупность двух различных устройств: устройства определения положения защитного шлема, называемого подсистемой позиционирования, включающей: оптическую подсистему позиционирования (ОПСП); инерциальную подсистему позиционирования (ИПСП); бортовой вычислитель; устройство управления, и подсистемы индикации, включающей: оптическую систему; датчик внешней освещенности (ДВО); бортовой вычислитель; устройство управления; пульт управления, конструктивно распределенных в составе трех компонентов: бортовой, носимой и нашлемной части. Функциональная схема НСЦИ представлена на рис.2.

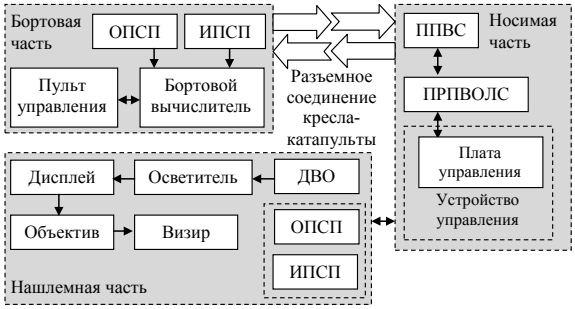


Рис.2. Функциональная схема НСЦИ.

Разделение НСЦИ на три компонента позволяет снизить нагрузку на шею пилота за счет перемещения части оборудования с защитного шлема в состав обмундирования пилота. Информационное взаимодействие носимой и бортовой части осуществляется через разъемные соединения катапультируемого кресла летчика.

Бортовая часть НСЦИ включает в себя элементы оптической и инерциальной подсистем позиционирования, установленные либо на приборной панели информационно-управляющего поля, либо на конструктивных элементах кабины, а также пульт управления и бортовой вычислитель.

Основу носимой части составляют: приемопередатчик волоконно-оптической линии связи (ПРПВОЛС), по которой осуществляется передача графической и телевизионной информации, плата преобразования видеосигналов (ППВС) и плата управления.

Нашлемная часть НСЦИ состоит из оптической коллиматорной системы с проекционной матрицей (дисплеем), высоко-яркостным осветителем и объективом, обеспечивающей отображение на визире (перед глазом пилота) графической и телевизионной информации на фоне закабинного пространства, датчика ДВО, а также включает элементы инерциальной и оптической подсистем позиционирования.

Бортовая часть НСЦИ обеспечивает:

- прием от бортовых систем видеопотока и его передачу в носимую часть для коллимирования изображения на визире;
- прием от носимой части НСЦИ сигналов ИПСП, необходимых для работы инерциальной

подсистемы позиционирования;

- совместную обработку информации об отклонениях элементов ИПСП, установленных на бортовой и нашлемной частях НСЦИ;

- передачу в носимую часть управляющих сигналов для светодиодных реперов (СДР) ОПСП;

- передачу в носимую часть управляющих сигналов для поддержания необходимого контраста индицируемой на визире информации в зависимости от сигналов датчика ДВО;

- выдачу углов направления линии визирования пилота.

Назначение носимой части НСЦИ заключается в преобразовании видеоданных для отображения на дисплее нашлемной части, в организации информационного взаимодействия нашлемной части с вычислителем бортовой части, фильтрации и формировании вторичных напряжений питания для нашлемной части.

Нашлемная часть обеспечивает формирование пилотажно-навигационной информации на визире непосредственно перед глазом пилота, измерение уровня внешней освещенности в поле зрения пилота, формирование реперных сигналов для работы ОПСП, а также сигналов ИПСП.

2. Оптическая и инерциальная подсистемы позиционирования НСЦИ.

Функциональная схема оптической и инерциальной подсистем позиционирования НСЦИ приведена на рис.3. Основное назначение ОПСП — определение и передача в бортовой вычислитель бортовой части НСЦИ сигналов углового позиционирования светодиодных реперов.

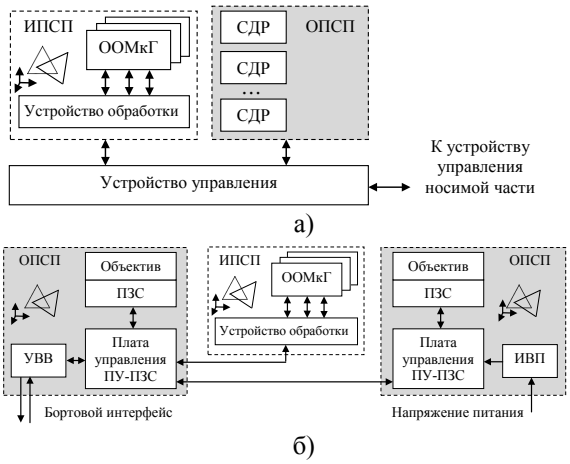


Рис.3. Функциональная схема подсистем ОПСП и ИПСП для а) нашлемной части и б) бортовой части НСЦИ.

Назначение основных узлов ОПСП:

- плата управления (ПУ-ПЗС), обеспечивает прием от ПЗС-матрицы видеоизображения, осуществляет обработку, поиск в видеопотоке образа светящихся реперов и оценку их угловых координат, обеспечивает комплексную обработку данных от ОПСП и ИПСП;

- устройство ввода-вывода (УВВ), обеспечивает информационное взаимодействие с бортовым вычислителем бортовой части (получение команд управления и передача оцененных значений координат светящихся реперов);

- источник вторичного питания (ИВП), обеспечивает функциональные узлы НСЦИ вторичными напряжениями питания.

ИПСП представляет собой два набора по три одноосевых микрогироскопа (ООМкГ), оси которых расположены вдоль осей системы координат НСЦИ. Одна группа ООМкГ располагается на элементах конструкции приборной панели информационно-управляющего поля, другая группа — на нашлемной части НСЦИ.

Назначение основных узлов ИПСП:

- одноосевой микрогироскоп (ООМкГ), выполнен на базе микросборки однокоординатного микрогироскопа, содержащей чувствительный элемент и сигнальный процессор первичной обработки данных;

- устройство обработки, реализующее функцию вычислительного устройства, обеспечивающего цифровую обработку данных о счисленных микрогироскопом углах разворота.

Обработка данных от ОПСП и ИПСП осуществляется в бортовом вычислителе. Определение направления линии визирования по данным от ОПСП осуществляется путем решения пространственной геометрической задачи по измеренным координатам светящихся реперов. Определение направления линии визирования по данным от ИПСП решается путем анализа углового рассогласования между компонентами ИПСП, установленными на элементах конструкции приборной панели ЛА, и компонентами, установленными непосредственно на защитном шлеме.

Заключение

К настоящему времени отечественным разработчикам удалось создать определенный технический задел, позволяющий приступить к решению актуальной задачи — обеспечению на борту функции целеуказания и индикации модернизируемых и принимаемых в эксплуатацию вертолетов и самолетов, что предполагает в ближайшей перспективе устойчивый спрос на эту продукцию.

Список литературы

1. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие // Информационно-управляющие системы, СПб: ГУАП, 2005, 144 с.

2. Шепета А.П., Жаринов И.О. Перспективы применения в авиации интегрированных нашлемных систем нейрофизиологического контроля // Информационно-управляющие системы, 2003, №6, с.58-62.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

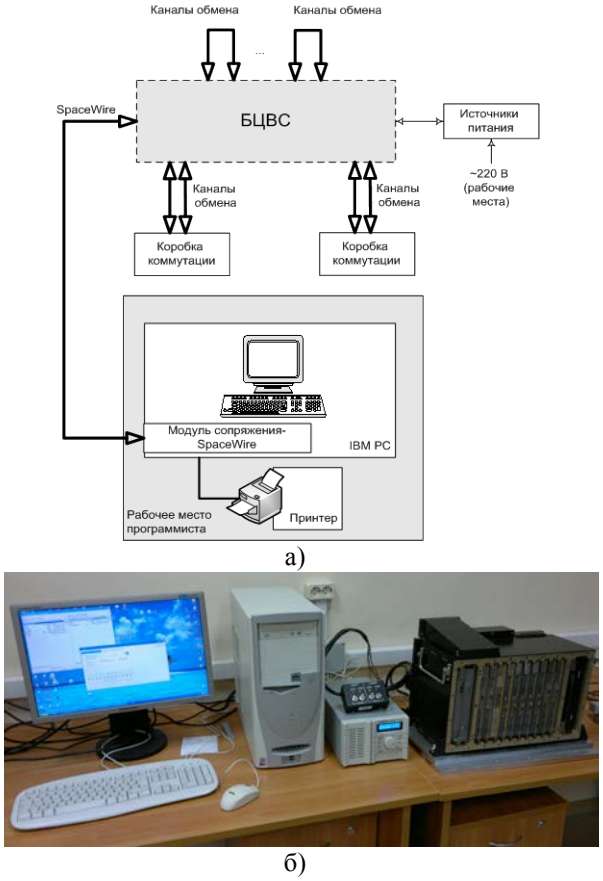
Захарова О.Л., Кирсанова Ю.А., Жаринов И.О.
Научный руководитель: Парамонов П.П., д.т.н., профессор
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

Введение

Одним из этапов проектирования интегрированных бортовых цифровых вычислительных систем (БЦВС) является этап разработки средств их контроля. Средство контроля БЦВС состоит из:

- инструментальной ЭВМ (персонального или промышленного компьютера);
- специализированного программного обеспечения (ПО), заносимого в инструментальную ЭВМ и в проверяемое изделие;
- специализированного оборудования (интерфейсные платы сопряжения инструментальной ЭВМ и изделия, технологические приспособления и переходные устройства, соединительные кабели, шины заземления).

Схема автоматизированного рабочего места (АРМ) по проверке БЦВС приведена на рис.1.



а)

б)

Рис.1. Функциональная схема а) и пример б) АРМ для проверки интегрированных БЦВС.

1. Проверка БЦВС в эксплуатации

Для проверки функционирования БЦВС проводится тестовый контроль. В эксплуатации контроль осуществляется встроенными средствами (каждый модуль БЦВС имеет собственные встроенные средства контроля). Встроенный контроль входит в состав базового программного обеспечения каждого модуля. Для проверки БЦВС используется специализированное ПО, которое обрабатывает сигналы состояния исправности отдельных модулей и формирует интегральный сигнал исправности БЦВС в целом.

Программно-логические средства контроля интегрированных БЦВС включают:

– тест начального включения (ТНВ) каждого входящего в БЦВС модуля;

– тест фонового контроля (ТФК) модуля во время загрузки ПО;

– тест встроенного контроля (ТВК) каждого входящего в БЦВС модуля.

Проверка БЦВС в эксплуатации осуществляется по алгоритму, показанному на рис.2. ТНВ производит проверку исправности цифровой части каждого модуля и внутримодульных каналов связи SpaceWire. Используется однозадачный режим для выполнения программы тестирования.

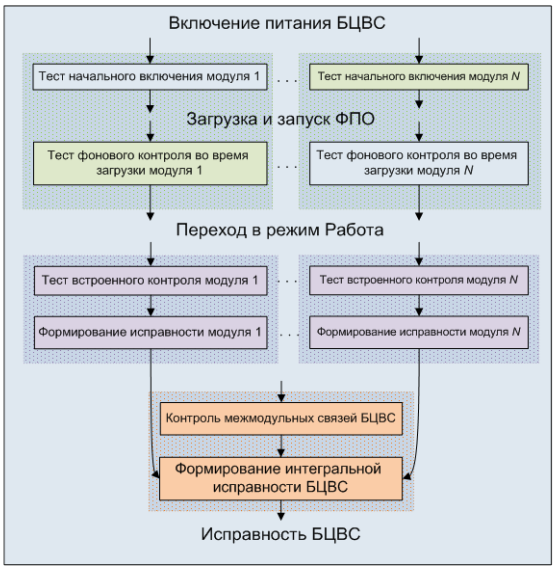


Рис.2. Алгоритм проверки БЦВС в эксплуатации.

ТФК во время загрузки ПО производит проверку исправности доступных для контроля узлов и внутримодульных каналов связи SpaceWire. Выполнение теста осуществляется в многозадачном режиме функционирования БЦВС.

ТВК производит проверку исправности до-

ступных для контроля узлов каждого модуля. Результат исправности передается по внутримодульным каналам SpaceWire. Выполнение теста осуществляется на фоне выполнения функциональной программы под управлением операционной системы (ОС) в режиме разделения времени.

Программное обеспечение системного контроля и диагностики БЦВС проводит контроль межмодульных связей и формирует интегральный сигнал исправности изделия на основе сигналов исправности всех модулей, полученных в результате выполнения тестов. Программное обеспечение системного контроля и диагностики выполняется на фоне выполнения функционального программного обеспечения (ФПО) изделия под управлением ОС в режиме разделения времени.

2. Проверка БЦВС при изготовлении

Определение технического состояния БЦВС на автоматизированном рабочем месте проверки осуществляется на заводе-изготовителе средствами встроенного контроля и средствами наземного контроля. Алгоритм проверки БЦВС на заводе-изготовителе приведен на рис.3 и состоит из:

– ТНВ каждого входящего в БЦВС модуля;

– ТФК каждого модуля во время загрузки ПО;

– ТНК каждого входящего в БЦВС модуля;

– программы проверки БЦВС, функционирующей на инструментальной ЭВМ.

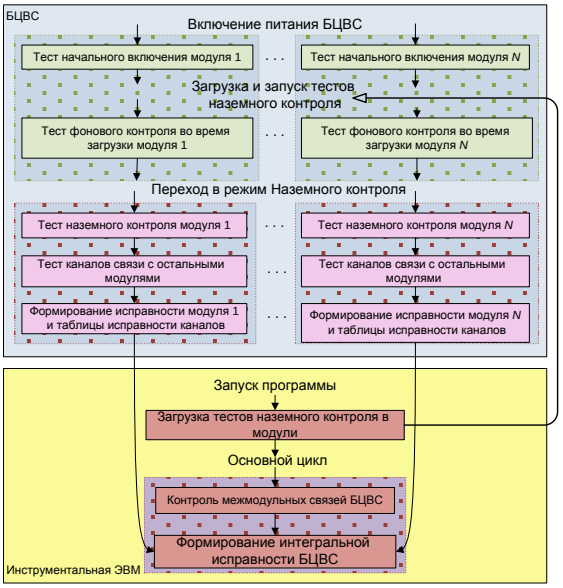


Рис.3. Алгоритм проверки БЦВС при изготовлении.

Процедуры выполнения ТНВ и ТФК модулей при проверке БЦВС в составе АРМ те же, что и при проверке БЦВС в эксплуатации (см. рис.2).

ТНК производит проверку исправности доступных узлов каждого модуля. Результаты исправности передаются по внутримодульным каналам обмена SpaceWire. В данном режиме формируется сигнал исправности каждого модуля и таблица исправности каналов связи для последующей передачи результата проверки в основную программу контроля БЦВС.

Программа контроля БЦВС заносит тесты наземного контроля БЦВС в модули, проводит контроль межмодульных связей БЦВС и контроль внешних каналов обмена SpaceWire изделия. Программа контроля БЦВС обрабатывает сигналы исправности модулей и формирует интегральную исправность БЦВС в целом.

Результат проверки БЦВС отображается на экране инструментальной ЭВМ. Пример рабочего окна программы проверки приведен на рис.4.

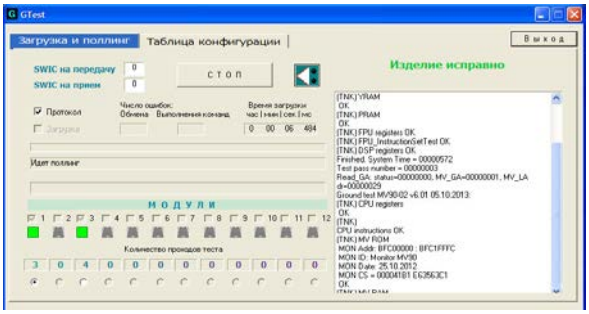


Рис.4. Рабочее окно программы для проверки БЦВС в составе АРМ: режим «Процесс тестирования – изделие исправно».

Заключение

Специфическими требованиями, присущими АРМ по проверке БЦВС, выполненных по стандартам интегрированной модульной авионики (ARINC 651—ARINC 655), являются:

- повышенный уровень контроля аппаратурной составляющей изделий;
- возможность имитации состояния отказа отдельных компонентов авионики для проверки режима реконфигурирования БЦВС;
- модульное построение ПО с разделением тестов проверки на компоненты, исполняемые на уровне каждого конструктивно-функционального модуля и вычислителя в целом в однозадачном и многозадачном режимах;
- открытость архитектуры рабочего места, обеспечивающая возможность изменения уровня сложности контроля изделия и контроль изделий одного класса сложности;
- внутрипроектная унификации как аппаратных средств, так и ПО АРМ проверки.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

2. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, № 2 (84), С. 1–17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СКАНЕРОВ КАК СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Ивашков Д.В., Батранин А.В.
Научный руководитель: Стучебров С.Г. , зав.лабораторией
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivashkovdv@gmail.com

В современных условиях томографические сканеры зачастую нуждаются в комплексной оценке производительности, которая позволяет сравнивать установки с различными характеристиками и стандартизировать их. Качество и информативность получаемого с помощью установки изображения определяется параметрами фокального пятна рентгеновской трубки: размерами, формой и величиной дрейфа; параметрами детектора: контрастным и пространственным разрешением и отношением сигнал/шум; особенностями применяемого алгоритма реконструкции и погрешностями механической системы. Оценка осложняется тем, что производители зачастую не указывают вышеперечисленные характеристики, либо заявленные значения не совпадают с действительными. Таким образом, для получения полной информации о производительности системы, необходим ряд экспериментов для определения действительных значений вышеперечисленных параметров.

Одной из ключевых характеристик томографических и радиографических цифровых систем является нерезкость получаемого изображения или результирующая нерезкость, которая используется наряду с пространственным разрешением и является обратной ему величиной. В рамках эксперимента была оценена результирующая нерезкость двух томографических систем, разработанных в Томском политехническом университете. Системы оснащены разными детекторами и источниками излучения (таблица 1).

Таблица 1. Составные части томографических систем TOLMI-150-10 и Орел-МТ

Томографическая установка	TOLMI-150-10	Орел-МТ
Рентгеновская трубка	РАП-150МН	X-RAY Worx XWT 160-TC
Цифровой матричный детектор	Remote RadEye200 (пиксель 96 мкм)	PaxScan 2520V (пиксель 127 мкм)

Измерение размеров фокального пятна

Стандартные методы [1] подразумевают косвенное определение размеров фокального пятна с помощью измерения геометрической нерезкости граней проекций облучаемого объекта при относительно высоком оптическом увеличении. В качестве тестового объекта используется вольфрамовая проволока диаметром 1±0,01 мм. Оптическое увеличение выбирается в пределах от 20 до 100 в обратной зависимости от размеров фокального пятна.

Измерения проводятся отдельно для горизонтального и вертикального направлений. Для томографа TOLMI-150-10 с аппаратом рентгеновским микрофокусным РАП-150МН при различных значениях напряжения трубки, размеры фокального пятна (при заявленных 50±10% мкм) представлены на рис. 2. Для томографа Орел-МТ размеры фокального пятна при максимальном токе анода, который считается режимом без фокусировки, составил 20±1 мкм в обоих направлениях. Размер фокального пятна в рабочих режимах, т.е. на средних и пониженных токах анода, не может быть измерен по данной методике. Таким образом, размер фокального пятна не превышает 20 мкм во всех режимах работы трубки.

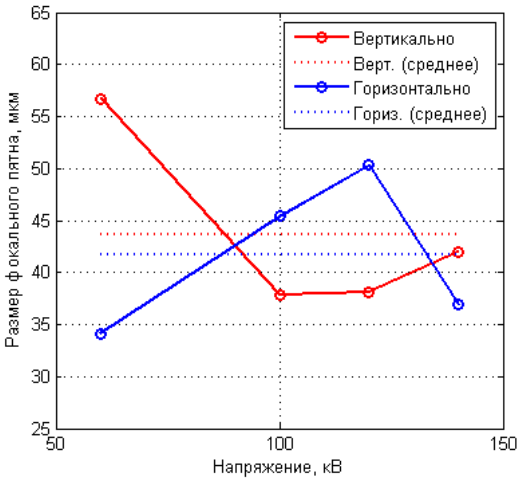


Рис. 1. Размеры фокального пятна, измеренные для TOLMI-150-10 при разном напряжении и средние значения.

Определение нерезкости детектора

Матрица детектора характеризуется тремя основными параметрами: контрастной чувствительностью, отношением сигнал/шум и базовым пространственным разрешением, которое, в свою очередь, требуется для вычисления общей нерезкости.

Для определения базового пространственного разрешения детектора используется дуплексный проволочный индикатор качества изображения IQI – Image Quality Indicator [2]. Методика проведения измерений изложена в [3].

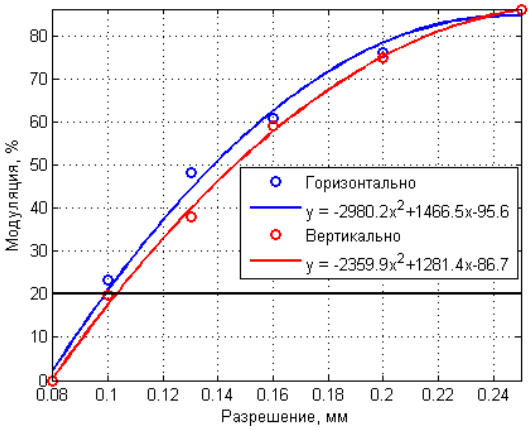


Рис. 2. Результат интерполяции SR_b в горизонтальном и вертикальном направлениях (TOLMI-150-10, напряжение трубки - 90 кВ)

Для используемой в томографе TOLMI 150-10 матрицы Rad-icon Remote RadEye200 с размером пикселя 96 мкм интерполированное базовое пространственное разрешение iSR_b составило 99 мкм и 103 мкм в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Томограф Орел-МТ с матрицей Varian PaxScan 2520V с размером пикселя 127 мкм показал следующие результаты: 162 мкм и 186 мкм в горизонтальном и вертикальном направлении.

Определение общей нерезкости установки

Нерезкость получаемого изображения U_{im} может быть оценена из оптического увеличения v, геометрической нерезкости U_G и базового пространственного разрешения детектора SR_b [3].

Нерезкость изображения для конкретной установки является функцией только одной переменной – геометрического (оптического) увеличения. Представив на одном графике зависимости геометрической нерезкости и нерезкости изображения как функций увеличения, по их пересечению можно определить минимальную нерезкость установки и необходимое для этого геометрическое увеличение (рис. 3 и 4)

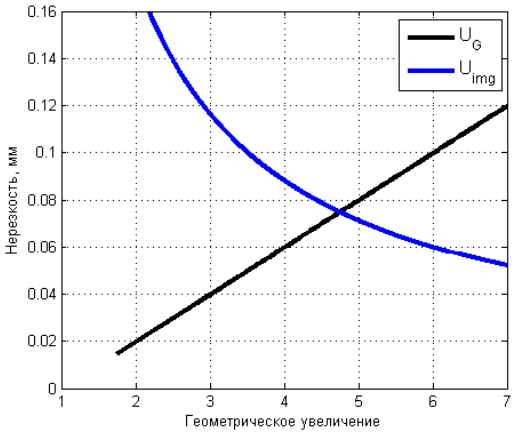


Рис. 3. Орел-МТ: точка пересечения соответствует минимальной нерезкости - 0,075 мм при увеличении 4,75 раз. Размер пикселя изображения - 27 мкм. (Из расчета, что фокальное пятно равно 20 мкм)

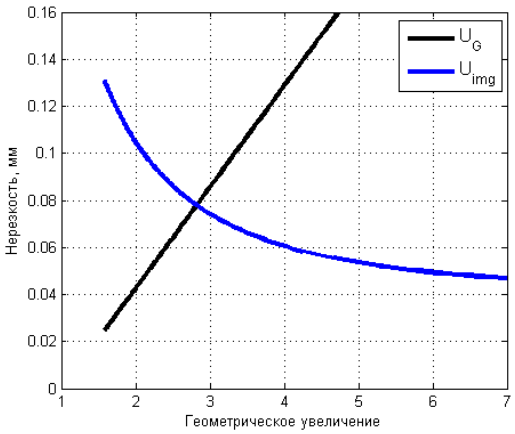


Рис. 4. TOLMI: минимальная нерезкость - 0,08 мм при увеличении 2,8 раз. Размер пикселя изображения - 35 мкм.

Выводы

Таким образом, система Орел-МТ показала лучшую производительность по показателю общей нерезкости. Ключевое значение оказывает размер фокального пятна рентгеновской трубки (20±1 мкм для Орел-МТ против 43±1 мкм для TOLMI-150-10)

Список литературы

1. BS EN 462-5:1996 Non-destructive testing. Image quality of radiographsImage quality indicators (duplex wire type), determination of image unsharpness value

2. Duplex IQI EN462-5 /ASTM E2002-98 for industrial NDT radiography

3. BS EN ISO 17636-2:2013 Non-destructive testing of welds. Radiographic testingX- and gamma-ray techniques with digital detectors

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНДУКЦИОННОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ.

Калашников Д.А.
Научный руководитель: Ширяев В.В., доцент, к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dima778@sibmail.com

В отличие от традиционных методов нагрева (конвективный, оптический), используемых в активном тепловом контроле, индукционный нагрев имеет другую природу, что и позволяет применять его для обнаружения поверхностных трещин в объектах из электропроводящих материалов [1].

Механизмы конвективного (оптического) и индукционного нагрева приведены на рисунке 1, где Q – тепловой поток от источника нагрева, например, лампы накаливания, а P – обратный тепловой поток от объекта контроля, регистрируемый тепловизором. В первом случае температурный сигнал над дефектом будет положительным, если теплопроводность дефекта ниже теплопроводности бездефектной области (для одностороннего контроля). Но данный метод, по понятным причинам, не чувствителен к трещинам, расположенным перпендикулярно поверхности. В этом случае эффективен индукционный нагрев.

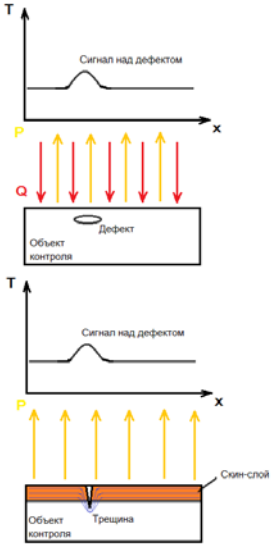


Рисунок 2. Механизм активного теплового контроля с использованием индукционного нагрева.

Вихревые токи в электропроводящем объекте, индуцируемые переменным магнитным полем индуктора, разогревают его под действием джоулева тепла, причем, нагревается лишь поверхностный слой, так называемый скин-слой (рисунок 2). Толщина скин-слоя определяется формулой:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu \lambda}}$$

Где δ –толщина скин-слоя, ω – круговая частота переменного тока; μ –магнитная проницаемость материала проводника, μ_0 –магнитная постоянная, λ –удельная электрическая проводимость [2].

В случае если глубина трещины превышает толщину скин-слоя, вихревые токи, встречая на пути преграду, будут огибать ее, как показано на рисунке, вследствие чего плотность тока в области трещины увеличится, что приведет к существенно большему ее нагреву.

Экспериментальные исследования.

Для проведения эксперимента был использован стальной поверенный контрольный образец с искусственными дефектами для калибровки вихретоковых дефектоскопов. Внешний вид образца приведен на рисунке 3.

Рисунок 3. Внешний вид контрольного образца.

Контрольный образец для вихретокового контроля воспроизводит дефекты типа нарушения сплошности материала (поверхностные трещины) и представляет собой металлический брусок в виде параллелепипеда, на поверхности которого нанесены три искусственных трещины глубиной 0,3;0,5;1 мм.

При проведении испытаний использовалось следующее оборудование: тепловизор TH9100ML фирмы NEC Avio для записи термографических последовательностей, в качестве источников нагрева применялась система индукционного нагрева. Нагрев образца осуществлялся двумя способами:

1. Витки индуктора расположены параллельно плоскости дефекта (вихревые токи протекают вдоль дефектов).
2. Витки индуктора расположены перпендикулярно плоскости дефектов.

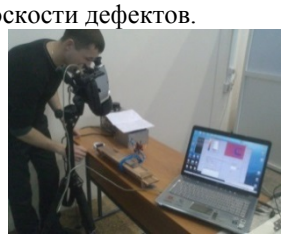


Рисунок 3. Проведение индукционной инфракрасной термографии.

Ниже представлены результаты обработки полученных термограмм с помощью программы ThermoFit Pro, разработанной в Томском политехническом университете. Данная программа позволяет применять следующие методы анализа термографических последовательностей: линейные методы обработки (нормализация, дифференцирование, фильтрация и т. д.), Фурье-анализ, различные способы вейвлет-анализа, а также метод главных компонент. В программе имеется модуль статистического анализа термограмм и получаемых изображений.

1. Индукционный нагрев производился в течение 5 секунд. Образец проталкивался через витки индуктора со скоростью приблизительно 1 см/с. Фиксация результатов производилась сразу после прохождения им индуктора. Результаты представлены на рисунке 4.

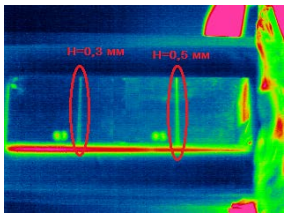


Рисунок 4. Термограмма 1

Из термограммы видно, что температура в области трещин выше, чем на бездефектных участках образца. Сигнал над трещиной глубиной 0,5 мм составил порядка 3,5 ^{0}C, а для трещины 0,3 мм порядка 1 ^{0}C. Ниже представлены графики полученные с помощью программы ThermoFit Pro (Рисунок 5), показывающие разность температур бездефектной области и трещин.

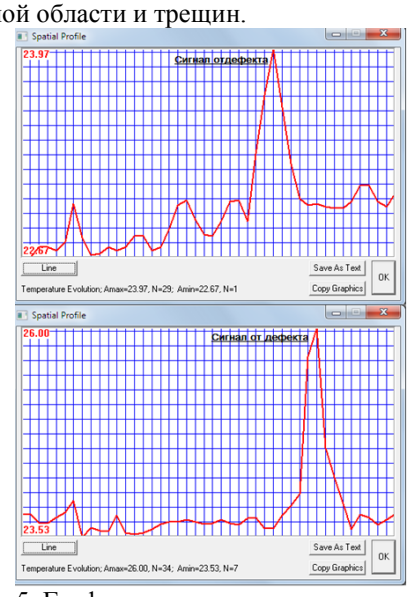


Рисунок 5. Графики, показывающие разность температур бездефектных областей и трещин глубиной 0,3 мм (верхний) и 0,5 мм (нижний)

2. При расположении индуктора перпендикулярно плоскости дефектов использовались те же параметры нагрева, что и в предыдущем случае. Результаты приведены ниже.

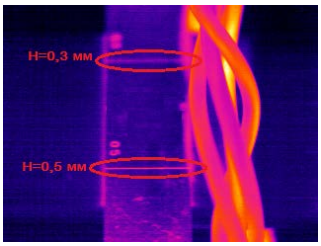


Рисунок 5. Термограмма 2.

Для трещины глубиной 0,3 мм сигнал над трещиной составил так же порядка 1 ^{0}C, а для трещины глубиной 0,5 мм – около 5 ^{0}C. Графики приведены ниже.

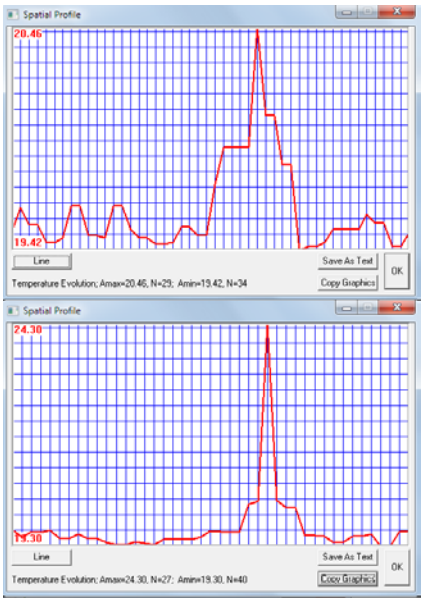


Рисунок 5. Графики показывающие разность температур бездефектных областей и трещин глубиной 0,3 мм (верхний) и 0,5 мм (нижний).

Как и ожидалось сигал над трещинами оказался большим при расположении витков индуктора перпендикулярно направлению трещин.

Вывод.

В ходе экспериментальных исследований убедились, что индукционная инфракрасная термография является отличной альтернативой магнитопорошковому и вихретоковому методам контроля. А так же экспериментально установили, что витки индуктора необходимо располагать перпендикулярно предполагаемому направлению трещин. Из преимуществ метода можно выделить:

1. Скорость контроля (одновременно сканируется обширная площадь объекта);
2. Бесконтактность;
3. Высокая вероятность обнаружения дефектов;
4. Низкий уровень ложных сигналов (по сравнению с магнитопорошковым контролем);

Литература

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2009. – 570 с.
2. Бодажков В.А. Объемный индукционный нагрев. – СП.: «Политехника», 1992. – 68 с.

СРАВНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЕФЕКТОВ В АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРЕЩИН В ОБЪЕКТАХ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Калашников Д.А.
Научный руководитель: Ширяев В.В., доцент, к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dima778@sibmail.com

«Классические» методы теплового нагружения (конвективный и оптический), используемые в активном тепловом неразрушающем контроле, не всегда применимы для обнаружения тех или иных дефектов. В частности трещины, расположенные перпендикулярно поверхности контролируемого объекта практически невозможно обнаружить с помощью данных методов. Поэтому существует необходимость использования «нетрадиционных» источников нагрева, таких как, индукционный и ультразвуковой.

Эти два метода отлично решают данную проблему, так как при стимуляции нагревается сам дефект, а не вся площадь контролируемой поверхности, как в случае с традиционными методами нагрева.

Экспериментальные исследования.

1. Активный тепловой контроль с использованием индукционного нагрева (индукционная инфракрасная термография).

Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая заготовка помещается в так называемый индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода. В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от десятка Гц до нескольких МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла. Нагревается только поверхностный слой, который называется скин-слой. В случае, если на поверхности заготовки имеется трещина, то она нагревается до большей температуры, чем бездефектная область, так как имеет большее сопротивление (рисунок 1). Именно из-за этого эффекта индукционный нагрев и нашел применение в активном тепловом контроле [1].

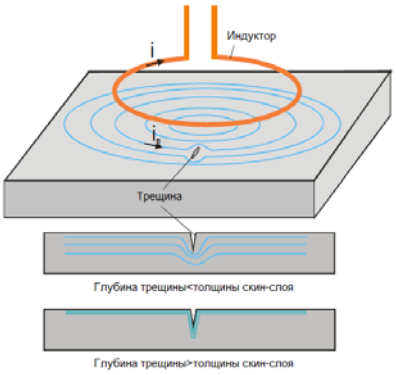


Рисунок 1. Схема установки индукционного нагрева

В качестве объекта исследования использовался переходной переводник для бурильных колонн с продольной трещиной (Рисунок 2).

Рисунок 2. Объект контроля

При проведении экспериментов использовалось следующее оборудование: тепловизор TH9100ML фирмы NEC Avio для записи термографических последовательностей, в качестве источников нагрева применялась система индукционного нагрева.

Общий вид тепловизионного дефектоскопа представлен на рисунке 3.

Рисунок 3. Тепловизионный дефектоскоп с индукционной стимуляцией.

Нагрев производили в течение 5 секунд. Далее на рисунке 4 представлены результаты обработки полученных термограмм с помощью программы ThermoFit Pro, разработанной в Томском политехническом университете.

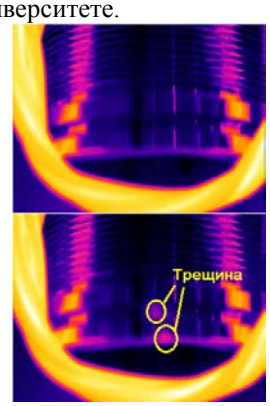


Рисунок 4. Полученные термограммы: до начала нагрева (верхняя) и после нагрева (нижняя).

Из полученных термограмм видно, что температура в области трещины больше, чем в бездефектной области. Температурный сигнал (разность температур трещины и бездефектной области) составил приблизительно 6,5 ^{0}C.

Далее на рисунке 5 представлен график зависимости температуры от времени инфракрасной съемки.

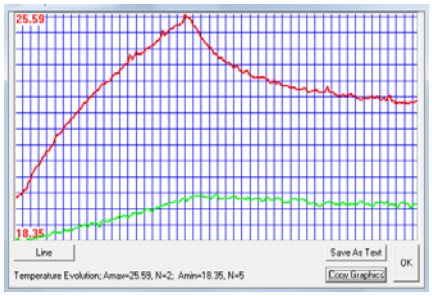


Рисунок 5. График зависимости температуры от времени: красный- над трещиной, зеленый – над бездефектной областью.

2. Активный тепловой контроль с использованием ультразвукового нагрева (ультразвуковая инфракрасная термография).

Основное отличие УЗ стимуляции от оптической состоит в том, что ультразвук существенно повышает температуру только в зоне дефектов с «трущимися» краями, оставляя бездефектные зоны «холодными», поэтому используемое в теории ТК понятие текущего контраста $\Delta T/T$ становится, по-видимому, неправомерным, поскольку избыточная температура T изделия в процессе контроля близка к нулевой [2].

В качестве источника нагрева объекта контроля использовано устройство для ультразвуковой стимуляции дефектов в конструкционных материалах ИЛ-УСД. Фото тепловизионного дефектоскопа показано на рисунке 6.

Рисунок 6. Тепловизионный дефектоскоп с ультразвуковой стимуляцией.

При вводе ультразвука в объект контроля возникли сложности – так как источник ультразвука имеет большую мощность, образец из-за вибрации «выскальзывал» из-под индентора магнитострикционного преобразователя. Поэтому возникла необходимость вводить ультразвук не напрямую, а через промежуточный звукопровод из твердого материала в виде металлической пластины. В качестве такой пластины были использован гаечный ключ. Ультразвуковую стимуляцию объекта производили в течение 5 секунд. Результаты приведены ниже.

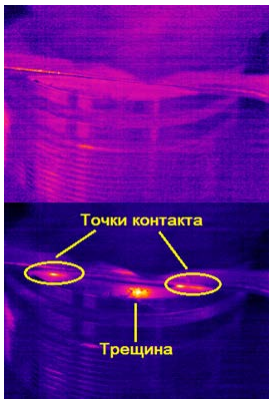


Рисунок 7. Термограммы до (верхняя) и после (нижняя) ультразвуковой стимуляции.

На рисунке 7 представлены термограммы инфракрасной съемки. Из рисунка видно, что нагрелась лишь трещина и точки контакта ключа и объекта контроля. Далее представлен график зависимости температуры от времени.

Рисунок 8. График зависимости температуры от времени: красный- над трещиной, зеленый – над бездефектной областью.

Как видно из графика температура бездефектной области практически не изменилась. Температурный сигнал над трещиной составил приблизительно 9 ^{0}C.

Вывод.

В ходе экспериментальных исследований установили, что и индукционная и ультразвуковая инфракрасная термография очень эффективны для обнаружения трещин в образцах из электропроводящих материалов.

При тепловом контроле с ультразвуковой стимуляцией, дефект проявляется более явно, чем при контроле с индукционной, так как бездефектная область остается «холодной», вследствие чего наблюдается больший температурный сигнал. В свою очередь индукционная стимуляция не требует наличия контакта и имеет возможность нагрева образцов сложной формы, в то время как при ультразвуковой стимуляции при нагреве объектов сложной формы возникают сложности из-за их смещения под действием вибрации.

Литература.

1. Бодажков В.А. Объемный индукционный нагрев. – СП.: «Политехника», 1992. – 68 с.
2. Ширяев В.В., Хорев В.С. Тепловой контроль с применением ультразвуковой стимуляции, Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета, 2011.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

Захарова О.Л., Кирсанова Ю.А., Жаринов И.О.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

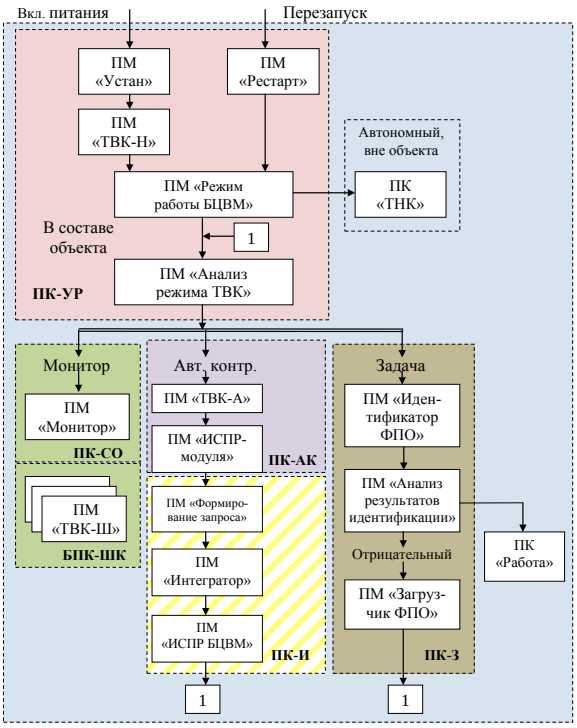
Введение

Основным результатом ряда исследовательских и опытно-конструкторских работ в области проектирования перспективных бортовых цифровых вычислительных систем (БЦВС) является предложенная [1-4] структура БЦВС и номенклатура конструктивно-функциональных модулей (КФМ), разработанные в классе структур интегрированной модульной авионики (ИМА).

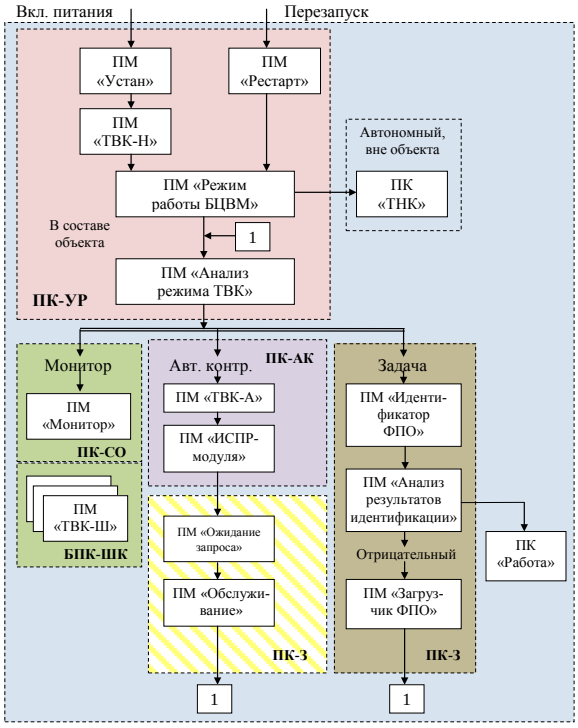
Актуальной задачей проектирования БЦВС класса ИМА на современном этапе является задача создания программных компонентов (ПК) и программных модулей (ПМ) БЦВС, реализующих средства контроля исправности таких многомодульных многопроцессорных вычислительных систем в реальном масштабе времени.

Структура программной реализации средств контроля БЦВС класса ИМА

Структура программной реализации средств контроля исправности БЦВС класса ИМА приведена на рис.1. На рис.1,а приведена структура ПК и ПМ модуля постоянной памяти (МПП), на рис.1,б — модуля вычислителя (МВ), модуля ввода-вывода (МВВ), модуля графического (МГ).



а)



б)

Рис.1. Структура программной реализации средств контроля исправности БЦВС класса ИМА: а) модуля МПП, б) модулей МВ, МВВ, МГ.

В состав программного обеспечения средств контроля исправности БЦВС класса ИМА входят следующие ПК и ПМ:

1. Программный компонент управления режимами (ПК-УР). Компонент ПК-УР обеспечивает:

- первичную инициализацию (установку) регистров микропроцессора и управляющих регистров программируемых логических интегральных схем КФМ;
- проверку работоспособности КФМ по начальному включению (после первичной подачи напряжения питания, после рестарта БЦВС из-за кратковременного перерыва питания на объекте или из-за возникшей в процессе работы ошибки);
- анализ режима работы БЦВС (в составе объекта, автономно, при проверке на заводе-изготовителе в составе рабочего места);
- анализ режима работы тестового программного обеспечения — тест наземного контроля (ТНК), тест встроенного контроля (ТВК), тест фонового контроля.

2. Программный компонент сервисного обслу-

живания (ПК-СО). Компонент ПК-СО обеспечивает обмен данными по технологическим интерфейсам БЦВС с внешними устройствами (инструментальная ЭВМ, платы-имитаторы управляющих сигналов и т.д.) в режиме «Монитор», доступ к внутренним вычислительным ресурсам КФМ, загрузку и отладку тестового и функционального программного обеспечения (ФПО) [5, 6].

3. Программный компонент автономного контроля (ПК-АК). Компонент ПК-АК обеспечивает процесс автоматизированного автономного контроля КФМ при наличии управляющего сигнала извне (на внешнем соединителе изделия).

Контроль исправности КФМ осуществляется без участия операционной системы и функционального программного обеспечения. По результатам проверки в случае положительного результата в фиксированных ячейках ОЗУ формируется информация, подтверждающая исправность КФМ, в случае отрицательного результата — информация об обнаруженных неисправностях.

Компонент ПК-АК может выполняться из системного ПЗУ КФМ или может быть загружаемым и выполняться из ОЗУ КФМ.

4. Программный компонент исправности (ПК-И). Компонент ПК-И обеспечивает анализ состояния работоспособности КФМ, входящих в состав БЦВС, путем их опроса по межмодульному внутреннему интерфейсу SpaceWire [7] и формирование интегральной исправности БЦВС в режиме автономного контроля.

5. Библиотека программных компонентов штатного контроля (БПК-ШК). Компоненты БПК-ШК обеспечивают проверку работоспособности КФМ в штатном режиме работы БЦВС.

Каждый программный компонент, входящий в состав БПК-ШК, представляет собой законченную программно реализуемую процедуру проверки, обеспечивающую контроль исправности функционального узла КФМ и работающую под управлением операционной системы или ФПО.

Формирование интегральной исправности БЦВС осуществляется отдельной программной процедурой, так же входящей в состав БПК-ШК.

6. Программный компонент тестов наземного контроля (ПК-ТНК). Компонент ПК-ТНК обеспечивает проверку БЦВС на этапе производства на заводе-изготовителе.

Компонент входит в состав технологической аппаратуры (инструментальной ЭВМ) автоматизированного рабочего места (АРМ) по проверке и настройке БЦВС и загружается в ОЗУ КФМ на время проверки в составе АРМ [8].

7. Программный компонент обслуживания запроса (ПК-ОЗ). Компонент обеспечивает обслуживание запроса о состоянии исправности КФМ по межмодульному интерфейсу SpaceWire.

8. Программный компонент загрузки (ПК-З). Компонент обеспечивает загрузку ФПО из МПП в оперативную память КФМ и его идентификацию по контрольным признакам (контрольные суммы данных и программ, принадлежность ПК и ПМ к конкретному виду КФМ и др.).

Заключение

Решение задачи разработки аппаратно-программных компонентов средств контроля исправности БЦВС класса ИМА имеет важнейшее значение для ускорения научно-технического прогресса и внедрения интегрированных систем в бортовое приборное оборудование авионики.

Средства контроля обеспечивают поиск неисправных КФМ, реализуют свойство отказоустойчивости авионики и создают предпосылки к созданию бортовых реконфигурируемых вычислительных структур.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

2. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №2(84), с.1–17.

3. Книга Е.В., Жаринов И.О., Богданов А.В., Виноградов П.С. Принципы организации перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №2(84), с.163-165.

4. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010, №1, с.12-20.

5. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе // Известия вузов. Приборостроение, 2006, Т. 49, №6, с.41-50.

6. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы, 2010, №1, с.2-5.

7. Книга Е.В., Жаринов И.О. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №6, с.92-98.

8. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Архитектура программного обеспечения автоматизированного рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2012, №2(78), с.140–141.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОМЕХОЭМИССИИ БОРТОВОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Жаринов И.О., Книга Е.В., Костишин М.О.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: job.max@me.com

Введение

Проектирование изделий авионики [1-3] основано на решении компромиссной задачи, связанной с выполнением требований технического задания (ТЗ). Одним из требований ТЗ является требование по ограничению уровня излучаемых изделием электромагнитных помех (ЭМП).

Допустимый уровень ЭМП задается в нормативно-технической документации (нормы летной годности самолетов, ГОСТ и пр.) и определяет уровень помех, создаваемых изделием по «эфиру», в цепях электропитания и сигнальных цепях.

Для обеспечения режима электромагнитной совместимости при работе комплекса бортового оборудования в составе изделия применяются различные схемные и конструктивно технологические решения, а для оценки качества результирующего проекта с изделием проводятся специализированные виды испытаний по различным методикам в безэховой камере.

Принцип исследования изделия авионики для обеспечения ЭМП-совместимости

После изготовления изделия на этапе проведения предварительных или межведомственных испытаний проводится оценка соответствия изделия требованиям ТЗ по электромагнитной совместимости в работе с бортовым оборудованием.

При проведении экспериментов по оценке уровней создаваемых электромагнитных помех (помехоэмиссии) исследованию подлежат:

- измерение напряжения электромагнитных помех в проводах питания изделия;
- измерение силы тока ЭМП в цепях питания и в сигнальных цепях (кабелях связи);
- измерение напряженности электрического поля ЭМП с различных сторон изделия.

В частности, для снижения уровня излучаемых ЭМП от соединительных жгутов и кабелей связи предпринимаются следующие конструктивно-технологические меры:

- экранировка электрических цепей с импульсными токами и наиболее важных аналоговых цепей с низким динамическим диапазоном передаваемых сигналов;
- взаимная компенсация магнитных потоков, создаваемых электрическими цепями, за счет применения бифилярного монтажа проводников;
- осуществление качественного заземления экранирующего слоя жгутов связи и снижение индуктивности линий передачи информации при осуществлении металлизации экранирующего слоя жгутовых соединений и кабелей связи;
- снижение полного сопротивления шин заземления оборудования, использование специальных фильтров радиопомех;
- снижение площади контура излучения ЭМП путем уменьшения длины жгутов и кабелей связи;
- размещение жгутов и кабелей по критерию минимума длины связи к элементам заземления конструкции: шасси, корпус блока и т.п.;
- применение материалов с частотно-зависимыми свойствами на основе высокочастотных ферритов для экранирования силовых цепей, цепей с импульсными токами и наиболее важных аналоговых цепей с низким динамическим диапазоном передаваемых сигналов.

В части проектирования многослойной печатной платы (МПП) для уменьшения уровня излучаемых ЭМП необходимо соблюдать следующее:

- для увеличения межслойной емкости и обеспечения эффективной высокочастотной развязки необходимо обеспечивать размещение слоев питания и слоев «общего провода» смежно. Полигоны электропитания необходимо располагать во внутренних слоях МПП. Слои электропитания следует разводить сплошными, уменьшая площадь неметаллизированных участков;
- все высокочастотные сигнальные цепи необходимо располагать во внутренних слоях, смежных со слоями «общего провода». Изменение направления трассы проводника высокоскоростных сигналов в топологии МПП необходимо выполнять в виде дуги;
- все пространство МПП, на котором не располагаются компоненты электрической схемы и линии связи, должно быть покрыто полигоном «общего провода»;
- необходимо разделять шины электропитания цифровых и аналоговых цепей и осуществлять их соединение в максимальной близости к выводам элементов, осуществляющих аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование;
- проводники цепей ввода-вывода для соединителей на МПП необходимо выполнять по критерию минимума длины связи с обеспечением фильтрации входных-выходных сигналов и последовательно-параллельным согласованием линии передачи информации.

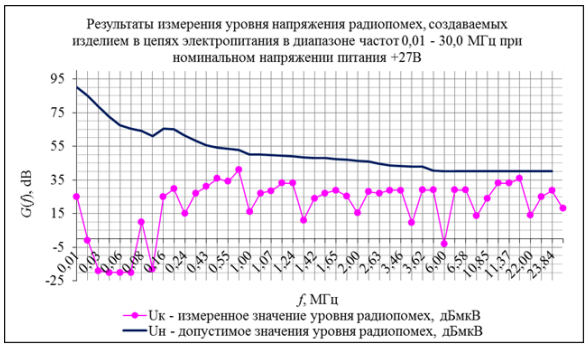
Результаты экспериментальных исследований по оценке помехоэмиссии изделия

Для оценки эффективности схемных и конструктивно-технологических решений, положен-

ных в основу проектирования изделия авионики класса БЦВМ (бортовой цифровой вычислительной машины), была проведена серия экспериментов. Внешний вид БЦВМ приведен на рис.1. Оценке подлежал уровень излучаемых изделием ЭМП в диапазоне частот 0,01 МГц – 100 МГц.

Рис.1. Бортовая цифровая вычислительная машина

Результаты экспериментов приведены на рис.2. Отдельно на рис.2,а приведен график уровня ЭПМ, зарегистрированной при работе изделия в диапазоне частот 0,01 МГц – 30 МГц, на рис.2,б — в диапазоне частот 30 МГц – 100 МГц. Разными линиями на графиках представлен уровень зарегистрированных ЭМП и допустимый уровень, соответствующий требованиям нормативно-технической документации (НТД) для данного класса аппаратуры.



а)

б)

Рис.2. Результаты измерения уровня помехоэмиссии изделия G(f) при номинальном напряжении питания +27В в диапазоне частот f: а) 0,01 МГц – 30 МГц, б) 30 МГц – 100 МГц.

Не трудно видеть, что в диапазоне частот 0,01 МГц – 30 МГц уровень допустимых электромагнитных помех резко снижается, что обусловливается изменение «проницаемости» материалов и элементов конструкций изделия с ростом частоты. Наличие ярко выраженных пульсаций ЭМП в низкочастотной области объясняется особенностями работы изделия и связано с влиянием тактовой частоты информационного обмена изделия с другими абонентами ботового комплекса по каналам связи (мультиплексный канал, последовательный код, разовые команды и т.д.).

В высокочастотной области уровень допустимых ЭМП постоянен, а пульсации излучаемых изделием ЭМП обусловлены работой изделия на тактовой частоте процессора, примененного в изделии, с дополнительной генерацией ЭМП на частотах гармоник основной частоты.

Важно заметить, что гармоники ЭМП возникают как по основной частоте работы изделия, так и по комбинированным частотам, генерируемым вследствие работы узлов изделия (устройства ввода вывода, межмодульная магистральная шина и т.д.) на частотах, отличных от основной.

Заключение

Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что схемотехнические и конструктивно-технологические решения, положенные в основу проектирования БЦВМ, позволили разработать изделие, соответствующее требованиям нормативно-технической документации.

Уровень ЭМП в районе 95 МГц на рис.2,б можно считать частным «выбросом», по своему значению совпадающим с допустимым значением помехоэмиссии изделия, заданным в НТД.

Критичным для практики является превышение ЭМП допустимого уровня НТД на 3-6 дБ, в связи с чем, результаты экспериментов считаются положительными, а эффективность схемотехнических и конструктивно-технологических решений подтвержденной.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография. – М.: Машиностроение, 2010. – 224 с.

2. Парамонов П.П., Бобцов А.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Сабо Ю.И., Шек-Иовсепянц Р.А. Проектирование систем бортового информационного обмена и их функциональных элементов: монография. – Тула: Гриф и К., 2010. – 208 с.

3. Парамонов П.П., Видин Б.В., Есин Ю.Ф., Жаринов И.О., Колесников Ю.Л., Кофман М.М., Сабо Ю.И., Шек-Иовсепянц РА. Теория и практика системного проектирования авионики: монография. – Тула: Гриф и К., 2010. – 365 с.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Кожевников Д. С.[1], Шатилов Н. П.[2]
Научный руководитель: Торгаев С.Н.
[1]Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: demonicsmile2@yandex.ru

В настоящее время большое внимание исследователей и разработчиков уделяется аппаратным реализациям, в частности, компонентов телекоммуникационных систем, поскольку такие реализации часто могут работать быстрее программных. Тем не менее, программные реализации в некоторых случая оказываются более гибкими и, вместе с тем, легко отлаживаемыми.. Отметим, что в виде «жесткой» логики реализуется большое количество телекоммуникационных компонентов; в том числе, активно исследуются возможности аппаратной реализации телекоммуникационных протоколов высоких уровней. Соответственно, с развитием технологий программирования и проектирования, необходимы четкие критерии сравнения для оценки эффективности аппаратной реализации по сравнению с программной. В настоящей работе такими критериями были выбраны время и скорость обработки входных данных. Соответственно, в данном докладе представлены предварительные результаты по оценке эффективности использования аппаратных реализаций как компонентов телекоммуникационных систем. В частности, поскольку в современном мире на первое место выходит защищенность информации, передаваемой по каналам связи, в данном докладе рассматривается возможность аппаратного шифрования данных. В качестве алгоритма шифрования выбран стандарт США DES.

В 1972 году Национальное бюро стандартов (National Bureau of Standards, NBS) выступило инициатором программы защиты линий связи и компьютерных данных. Одной из целей этой программы была разработка единого, стандартного криптографического алгоритма. К разрабатываемому продукту было выдвинуто следующее основное требование: алгоритм должен быть проверен и сертифицирован, легко доступен, а использующие его различные криптографические устройства должны взаимодействовать. Таким образом появился алгоритм шифрования DES (Data Encryption Standard) [1].

DES представляет собой блочный шифр, которые преобразует данные открытого текста 64-битовыми блоками. Соответственно, на вход алгоритма подаётся 64-битовый блок открытого текста, а с выхода снимается 64-битовый блок шифртекста. Отметим, что DES является симметричным алгоритмом, а именно, для шифрования и расшифрования используются одинаковые алгоритм и ключ (за исключением небольших различий в использовании ключа).

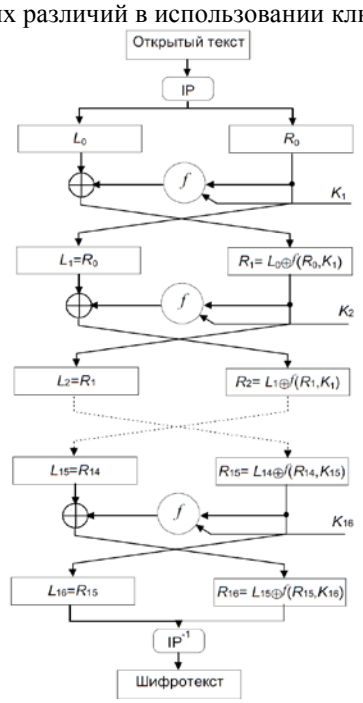


Рис. 1. Алгоритм шифрования DES.

Длина ключа равна 56 битам. Отметим, однако, что ключ, как правило, представляется 64-битовым числом, но каждый восьмой бит используется для проверки четности и игнорируется; Биты четности являются наименьшими значащими битами байтов ключа. Согласно стандарту DES, ключ, который может быть любым 56-битовым числом, можно изменить в любой момент времени. Тем не менее, известно, ряд чисел являются слабыми ключами в смысле стойкости шифра, поскольку первоначальное значение ключа, в ходе алгоритма шифрования, расщепляется на две половины, каждая из которых сдвигается независимо. Примером может служить вектор, наполовину состоящий из единиц и наполовину из нулей. В этом случае для всех этапов алгоритма используется один и тот же ключ. Основными операциями в алгоритме являются: На рисунке 1 приведена схема алгоритма шифрования DES.

Алгоритм DES был реализован аппаратно на ПЛИС типа FPGA Cyclone II Starter Development Board компании Altera (рисунок 2).

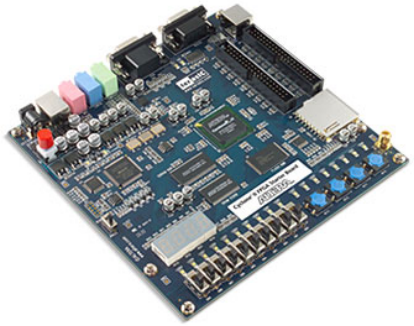


Рис. 2. Внешний вид платы Cyclone II Starter Development Board

Технология FPGA в активно используется в настоящее время и базируется на блоках умножения-суммирования (в частности, для обработки сигналов, DSP), а также логических элементах (как правило, на базе таблиц истинности соответствующих функция) и, вместе с тем, их блоках коммутации [2]. Отметим, что технология FPGA обычно используются для обработки сигналов и имеет более гибкую архитектуру, чем, например, CPLD. Программа для FPGA хранится в распределённой памяти, которая может быть выполнена как на основе энергозависимых ячеек статического ОЗУ (программа не сохраняется при исчезновении электропитания микросхемы), так и на основе энергонезависимых ячеек Flash-памяти или перемычек antifuse (программа сохраняется при исчезновении электропитания). Если программа хранится в энергозависимой памяти, то при каждом включении питания микросхемы необходимо заново конфигурировать её при помощи начального загрузчика, который может быть встроен и в саму плату на базе FPGA. Альтернативой ПЛИС FPGA являются более медленные цифровые процессоры обработки сигналов, тем не менее, исследования по использованию таких процессоров при аппаратном шифровании остаются за рамками данного доклада.

Помимо аппаратной реализации докладчиками была разработана программная реализация алгоритма шифрования DES. Соответствующая программа была написана на языке C++ с использованием интегрированной среды разработки Microsoft Visual Studio 2013 Express Edition.

Программа принимает на вход 64-битовый вектор (блок открытого текста) и случайным образом сгенерированный ключ той же размерности. На выходе получается 64-битный блок шифротекста. Отметим, что в программная реализация использует технологию ООП, а именно, для обработки булевых векторов размерности более 32 бит был реализован класс «Длинный булев вектор».

Результатом работы выступает сравнение полученных реализаций, и одним из критериев оценки было выбрано время, затраченное на шифрование с использованием программной и аппаратной реализаций. В частности, в эксперименте определяется множество последовательностей, которые подаются на каждую из реализаций, и сравнивается общее время обработки входных данных.

Отметим, что для достижения максимальной скорости шифрования требуется обеспечить наиболее быстрый способ считывания информации для шифрования. Оптимальным решением в данном случае является считывание этих данных с SD-карты или организация интерфейса передачи данных, который «сможет» быстро осуществлять передачу данных к ПЛИС. Примером такого интерфейса может служить USB или Ethernet. Отметим, что решение данной задачи, а именно, выбора подходящего интерфейса для вычисления «чистого» времени аппаратного шифрования представляет интерес для дальнейших научных исследований, и на данный момент организована память внутри самого кристалла ПЛИС. Этот факт позволил использовать 64-разрядную память, из которой можно единовременно считывать 64 бита открытого текста. Эксперименты по оценке времени шифрования проводятся авторами в настоящий момент.

Отметим, что помимо скорости и времени обработки данных существуют и другие критерии оценки. В дальнейшем планируется оценить и другие реализации, возможно, сравнить с уже существующими по эффективности, надежности, качеству и другим параметрам. Отдельным вопросом при проектировании аппаратного обеспечения является вопрос тестирования, и в данном случае в дальнейшем авторы предлагают использовать программную реализацию для тестирования аппаратной.

Перечисленные задачи открывают перспективы для дальнейших научных исследований.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования *и науки Российской Федерации, Госзадание №5.1307.2014.*

Литература

1. Прикладная криптография : Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си : пер. с англ. / Б. Шнайер. — М.: Триумф, 2002. — 816 с.: ил.. — Знания и опыт экспертов. — Библиогр.: с. 741-796.
2. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов. — М.: ДОДЭКА, 2000. —128 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СРЕДА КОНФИГУРИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ИЗДЕЛИЯХ АВИОНИКИ

Батова С.В., Благонравов С.А., Коновалов П.В.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: olkesomewhere@gmail.com

Введение

Основной задачей операционных систем (ОС) реального времени (ОСРВ) мультипроцессорных многомодульных бортовых интегрированных вычислительных систем авионики [1, 2] является своевременность выполнения процессов обработки данных.

Большинство современных ОСРВ построено по компонентному принципу, что требует выполнения процедуры конфигурирования программного обеспечения (ПО) изделия с учетом особенностей этого изделия.

В связи с этим при разработке ПО изделия авионики возникает задача проектирования, заключающаяся в создании конфигурации системы, которая обеспечивает выделение каждому компоненту системы необходимых ему ресурсов, позволяет организовать информационное взаимодействие между компонентами системы и гарантирует выполнение всех целевых функций системы в заданные интервалы времени.

1. Автоматизированная среда конфигурирования программного обеспечения ОСРВ

Автоматизация процесса конфигурирования выполняется на рабочем месте программиста (РМП), оснащенном инструментальной ЭВМ и программными средствами системы автоматизации проектирования (САПР) [3, 4]. Программное обеспечение РМП представляет собой единую среду проектирования, охватывающую весь объем конфигурационной информации. Основным пользователем среды является системный интегратор, к которому поступает информация от разработчиков всех компонентов ПО целевой системы.

Подготовку конфигурационной информации, необходимой ОС для инициализации и выполнения приложений, а так же для организации связей между приложениями, системный интегратор выполняет на инструментальной ЭВМ с помощью специального программного компонента – «Конфигуратор», поставляемого разработчикам целевого ПО вместе с операционной системой.

Для использования ОС конфигурационная информация формируется по определенному формату и загружается в память целевого вычислителя в двоичном представлении. Автоматизированная среда «Конфигуратор» позволяет создавать и редактировать конфигурационные данные в интерактивном режиме, используя для хранения информации файл в формате XML (eXtensible Markup Language) и генерировать файл с исходным текстом на языке С, содержащий конфигурационные данные, структурированные нужным образом. Результатом компиляции этого файла является загружаемый в изделие файл, содержащий двоичные данные. Формат загружаемого файла с двоичной конфигурационной информацией определяется возможностями компилятора и средств загрузки в целевую платформу. Наиболее часто применяется формат хранения данных motorola-32 (mot). На рис. 1 приведена схема связей описанных выше компонентов.

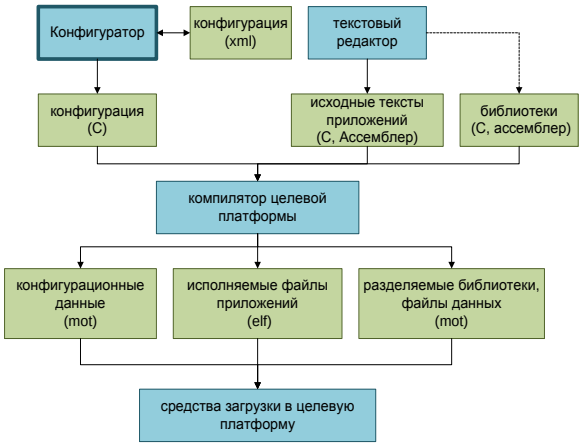


Рис.1. Информационные связи автоматизированной среды «Конфигуратор».

Большой объем разнородных конфигурационных данных требует создания специализированного пользовательского интерфейса оболочки автоматизированной среды, который должен обеспечить информативность и удобство использования.

2. Результаты разработки среды проектирования

Конфигурационная информация представляется в виде иерархического дерева с дополнительными горизонтальными связями между отдельными ветвями. Каждый последующий уровень подразумевает большую детализацию представления информации, а каждая отдельная ветвь представляет структурно независимый блок данных. Горизонтальные связи дерева содержат информацию о взаимодействии структурно или функционально независимых элементов и представляются в дереве специальными узлами — листьями дерева. Примеры рабочих окон среды проектирования приведены на рис.2 — рис.4.

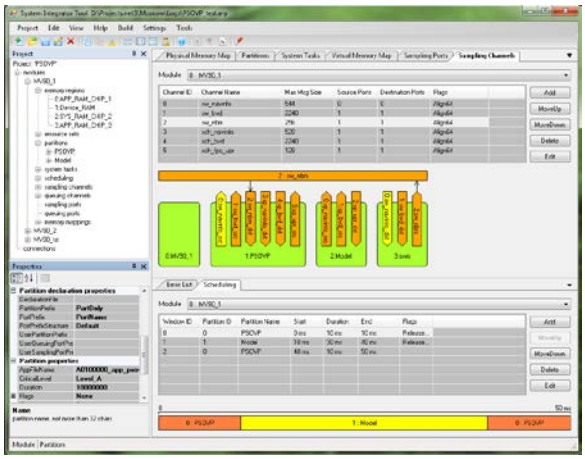


Рис.2. Рабочее окно программы САПР для конфигурирования ПО систем авионики.

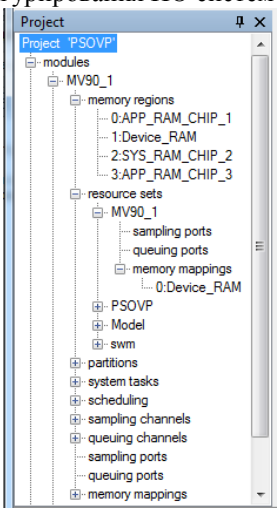


Рис.2. Панель Project, содержащая иерархическое дерево конфигурационных связей.

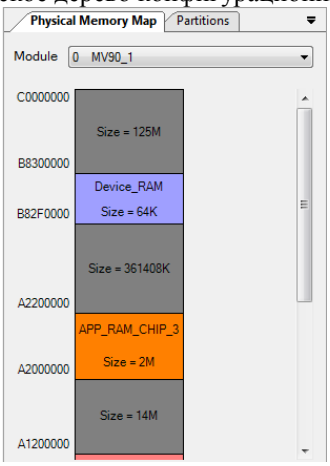


Рис.3. Графическое представление карты физической памяти модуля авионики (свободные области памяти выделены серым цветом).

Для удобства пользователя в среде реализован альтернативный способ представления и редактирования конфигурационной информации в виде таблиц, диаграмм и их комбинаций, содержащих логически связанную конфигурационную информацию из различных ветвей дерева. Возможны различные виды логической группировки, для каждого из которых используется своя диаграмма, позволяющая выделить главный аспект группируемой информации.

Среда проектирования позволяет генерировать файл, содержащий конфигурационную информацию для каждого вычислительного узла вычислительной системы. Кроме того, для удобства разработчиков функционального ПО могут быть созданы исходные заголовочные файлы с описанием ресурсов каждого приложения.

Важно заметить, что в процессе проектирования выполняется исчерпывающая проверка всей введенной конфигурационной информации. Удобным дополнением служит возможность выполнения генерации выходных файлов готового проекта в режиме «командной строки».

Заключение

Автоматизация проектирования компонентов ПО позволяет снизить вероятность внесения ошибок при проектировании или внесении изменений в версии программного обеспечения, следствием чего является повышение качества разрабатываемого и сопровождаемого программного продукта.

Основным результатом процесса автоматизации проектирования, достигнутым авторами при написании программного проекта системы автоматизации проектирования, является значительное сокращение трудоемкости и сроков разработки специализированного программного обеспечения и внесения в него изменений при возрастающем уровне качества.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

2. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №2 (84), с.1-17.

3. Парамонов П.П., Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Дейко М.С. Принципы построения отраслевой системы автоматизированного проектирования в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2012, №6 (82), с.111–117.

4. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Архитектура программного обеспечения автоматизированного рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2012, №2 (78), с.140–141.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ В АВИОНИКЕ

Костишин М.О., Жаринов И.О., Книга Е.В.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: job.max@me.com

Введение

Одними из требований технического задания, предъявляемых к бортовым геоинформационным системам и системам индикации, являются эргономические требования для кабины летательного аппарата (ЛА). Требования регламентируют систему используемой на борту цветовой палитры и характеристики визуализации изображения для всех отображаемых параметров (см. рис.1).

Согласно руководству 25-11А по сертификации систем электронной индикации самолетов транспортной категории, индикация значения указателя угла крена должна осуществляться белым цветом; значения указателя заданного путевого угла ортодромии — голубым цветом и т.д. Руководство определяет общепринятые в международной практике наименования цветов для индикации каждого вида информации или параметра, но не определяет значения (x, y)-координат цветности для каждого наименования цвета.

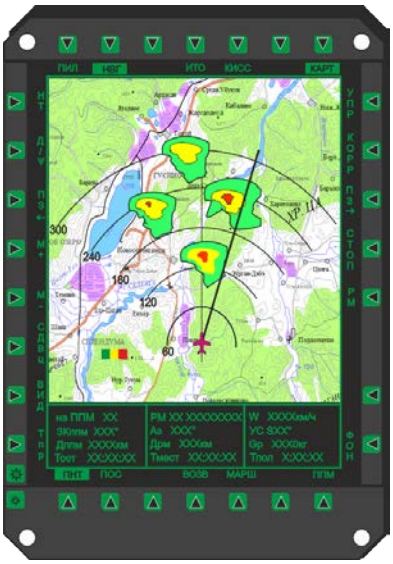


Рис.1. Пример отображения карты местности на борту ЛА в режиме: карта и метеоданные.

При изменении угла наблюдения для современного средства бортовой индикации класса МФЦИ (многофункционального цветного индикатора), выполненного на основе плоской жидкокристаллической (ЖК) панели [1], имеет место изменение контраста изображения для большинства отображаемых цветов, а также явление инверсии цвета. Прямая солнечная засветка в плоскости экрана МФЦИ существенно снижает значение контраста для отображаемых цветов за счет изменения отношения яркости цвета и яркости фона даже при работе встроенной функции автоматической регулировки яркости (АРЯ) изделия.

Актуальной задачей является определения такой цветовой палитры для отображения бортовой пилотажно-навигационной информации и геоинформационных данных, которая обладала бы наилучшими характеристиками восприятия для пилота во всех условиях эксплуатации ЛА.

Результаты исследований

Результаты натурных экспериментов были получены на специализированной светотехнической установке, представляющей собой испытательный стенд проверки параметров изделий авионики. Схема установки приведена на рис.2.

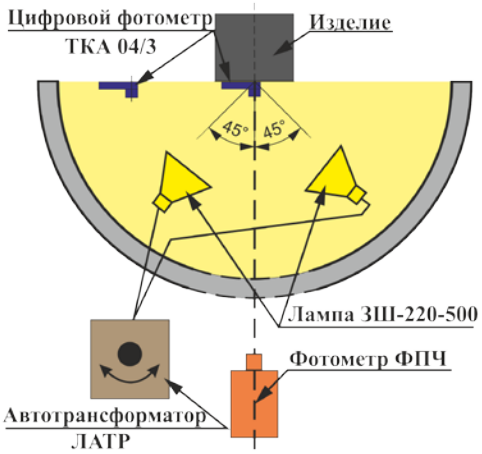


Рис.2. Светотехническая установка.

Испытательный стенд предназначен для измерения светотехнических характеристик бортового индикационного оборудования (МФЦИ, пультов управления и индикации и т.д.). Стенд осветительный позволяет устанавливать (имитировать) регулируемый латером уровень внешней освещенности в плоскости экрана МФЦИ до 75 кЛк и измерять уровень яркости каждого элемента изображения, индицируемого на экране МФЦИ в любом цвете и яркость фона изображения.

Экспериментальные исследования проводились для МФЦИ различных моделей с ЖК-экранами различных фирм-производителей в условиях наличия прямой солнечной засветки [2]. Оценка яркостного контраста производилась по формуле: $K=(Br_Ц - Br_Ф)/Br_Ф$, где $Br_Ц$ – яркость изображения в цвете, $Br_Ф$ – яркость фона изображения при одном и том же уровне внешней осве-

щенности E. Результаты измерений яркости и оценки контраста представлены на рис.3.

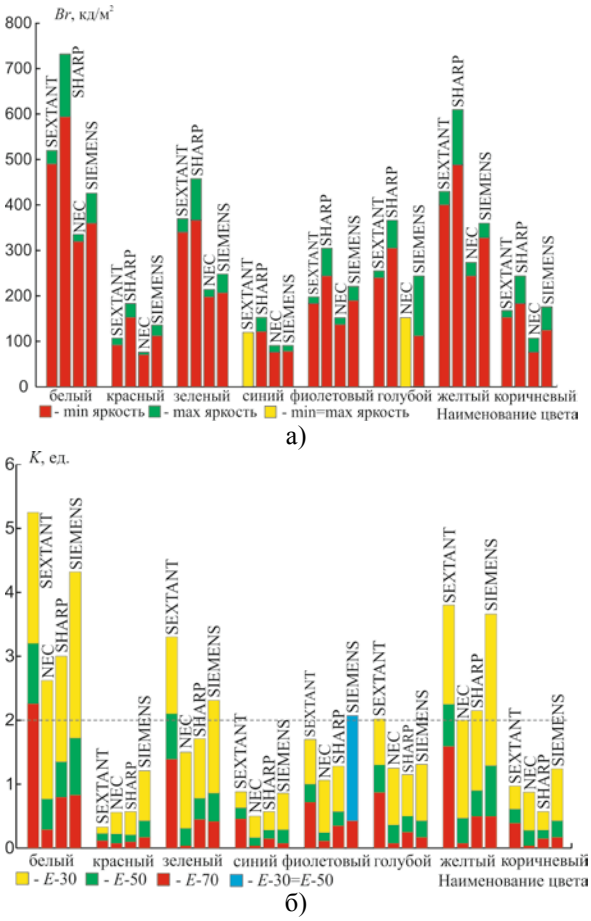


Рис.3. Диаграмма значений яркости а) и яркостного контраста б) для ЖК-панелей различных фирм-производителей, установленных разработчиками в разных моделях МФЦИ.

На рис.3,а по оси абсцисс отложено наименование цвета, в котором на экране МФЦИ отображается элемент изображения. По оси ординат отложены минимальная и максимальная яркость цвета *Br* элемента изображения в пределах поля ЖК-экрана. На рис.3,б по оси абсцисс отложено наименование цвета, в котором на экране МФЦИ отображается элемент изображения, а по оси ординат отложено оцененное значение яркостного контраста *K* при различных уровнях внешней освещенности E = {30 кЛк, 50 кЛк, 70 кЛк} и работающей функции АРЯ.

Следует заметить, что измерение яркости изображения на экране МФЦИ производилось при максимальном значении управляющего воздействия на органы управления яркости, допустимом разработчиками МФЦИ и схемой включения ЖК-экрана в составе МФЦИ.

Анализ рис.3,а показывает, что все исследованные образцы ЖК-панелей обладают существенным разбросом уровня яркости по полю экрана, обусловленным неравномерностью свечения ламп подсвета и качеством фильтров и рассеивателей, примененных разработчиками ЖК. Так, верхняя и нижняя границы яркости белого цвета для панели SEXTANT составляют 520 кд/м^2 и 490 кд/м^2 соответственно, аналогично, для панели NEC в фиолетовом цвете — 198 кд/м^2 и 183 кд/м^2.

Само по себе значение яркости ЖК-панели не определяет ее качество и возможность ее использования в составе авиационного оборудования. Более важным показателем является значение яркостного контраста отображаемых цветов при внешней засветке, т.е. эргономическая характеристика, отражающая способность оператора воспринимать графическую информацию с экрана.

Анализ рис.3,б показывает, что значение яркостного контраста существенно зависит от уровня внешней освещенности и падает с ростом E. Снижение контраста для всех цветов объясняется увеличением яркости фона изображения с ростом уровня внешней солнечной засветки.

Заключение

В результате проведенного исследования были получены (*x*, *y*)-координаты цветности элементов изображения (символы, линии, мномознаки, площадные объекты и пр.), индицируемых на экране МФЦИ в различных цветах, устойчивых по значению яркостного контраста к внешней солнечной засветке и углам наблюдения экрана. Распределение координат цветности для различных отображаемых цветов представлено на рис.4.

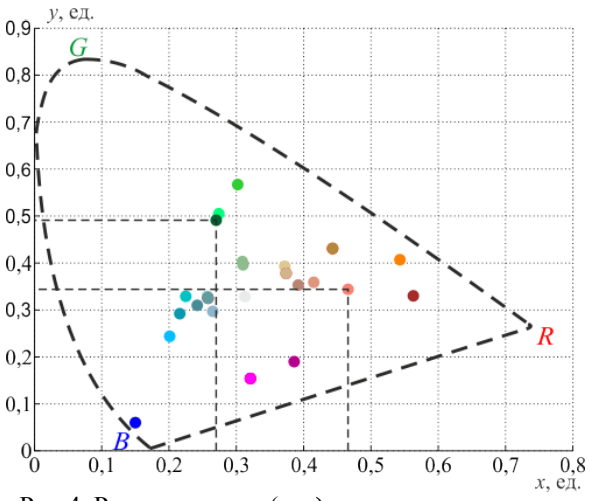


Рис.4. Распределение (*x*, *y*)-координат цветности для цветов палитры, используемой для отображения геоинформационных данных.

Список литературы

1. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие // Информационно-управляющие системы. – СПб: ГУАП, 2005. – 144 с.

2. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Бортовые средства отображения информации современных пилотируемых летательных аппаратов // В кн. Современные технологии / Под ред. С.А. Козлова и В.Л. Ткалич. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 154–165.

ОЦЕНКА СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ИНДИКАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ОТОБРАЖАЕМЫХ ЦВЕТОВ И ИХ ОТТЕНКОВ

Костишин М.О., Жаринов И.О., Жаринов О.О.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: job.max@me.com

Введение

Для отображения геоинформационных данных на борту современного летательного аппарата (ЛА) используются (см. рис.1) бортовые индикаторы класса МФЦИ (многофункциональные цветные индикаторы), выполненные на базе плоских жидкокристаллических (ЖК) панелей [1-3]. Синтез изображения в МФЦИ осуществляется в модуле графического контроллера (ГК), внутренняя структура которого рассмотрена в [4, 5].

Рис.1. Примеры индикации геоинформационных данных на МФЦИ.

Основной эргономической особенностью выводимого на экран МФЦИ изображения является способ формирования цифровых кодов используемой цветовой палитры. Замечено, что элементы изображения, выводимые на экран МФЦИ в основных цветах (красный, зеленый, синий) с максимальным значением управляющего кода на ЖК-матрице, имеют визуальные характеристики восприятия изображения (яркостной контраст), отличные от тех же характеристик изображения для оттенков основных цветов.

Оттенки цветов в МФЦИ формируются путем использования в ГК комбинаций кодов основных цветов RGB (R–Red, G–Green, B–Blue). Код RGB представляет собой двоичный позиционный код, разрядность которого определяется разрядностью ЖК-матрицы. Так, для матрицы с разрядностью 6 число управляющих кодов для отображения одного основного цвета составит 64. Максимальное значение кода $S_R = 64_{10} = \{111111\}_2$ эквивалентно воспроизведению на экране МФЦИ элемента изображения с максимально насыщенным красным цветом. Код $S_R = 32_{10}$, таким образом, будет соответствовать одной из промежуточных (от черной до максимально насыщенной) градаций красного цвета. Аналогично для зеленого, синего цвета и их $2^6 2^6 2^6 = 2^{18}$ комбинаций кодов.

1. Методика исследования

Для оценки визуальных характеристик изображения геоинформационных данных, воспроизводимого на экране МФЦИ в оттенках основных цветов и их комбинациях необходимо провести измерения яркости свечения элементов изображения для всех отображаемых цветов и оттенков.

В эксперименте на экране МФЦИ был сформирован градационный клин с 7-ю отображаемыми оттенками для белого, красного, зеленого, синего, фиолетового, голубого, желтого и коричневого цветов. Градационный клин представляет собой изображение в одном цвете, выводимое на экран МФЦИ с различным значением управляющих кодов каждой яркостной градации. Например, цифровой код $S_R = \{000000\}_2$ соответствует первой (черной, фоновой) градации красного цвета, код $S_R = \{000001\}_2$ соответствует второй градации красного цвета, код $S_R = \{000010\}_2$ соответствует третьей градации красного цвета и т.д., всего 64 градации. Аналогично для остальных отображаемых цветов.

В пределах каждой градации яркости для каждого отображаемого цвета проводилось измерение яркости изображения и яркости фона. Значение яркостного контраста каждой градации яркости каждого цвета оценивалось по формуле:

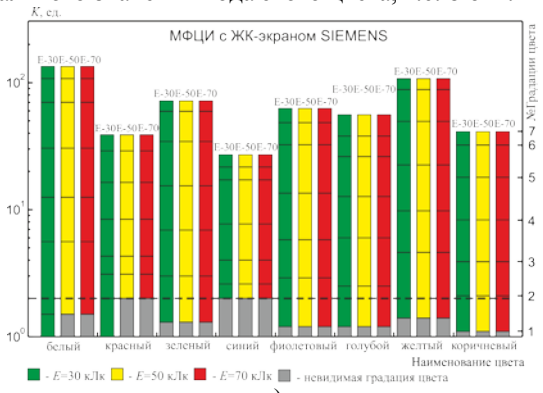
$$K = \left(L_И - L_Ф\right) / L_Ф ,$$

где $L_И$ –измеренная яркость изображения для градации цвета, $L_Ф$ – измеренная яркость фона (черный цвет). Оценивалось также число визуально наблюдаемых градаций каждого цвета при наличии внешней освещенности E = {30 кЛк; 50 кЛк; 70 кЛк}, создаваемой в плоскости экрана МФЦИ специализированной осветительной установкой.

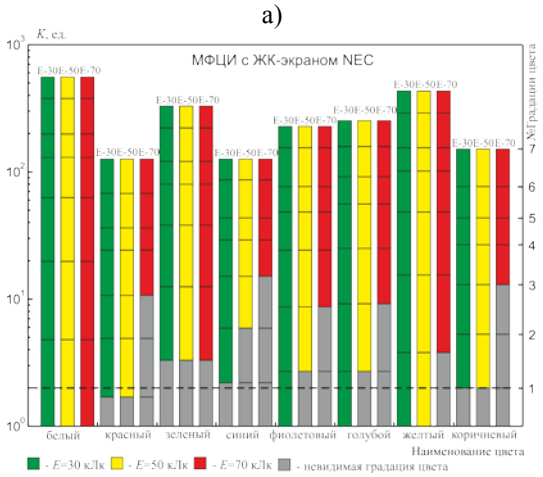
2. Результаты экспериментов

На рис.2 приведены результаты оценки яркостного контраста элементов изображения, выводимых на экран МФЦИ в различных цветах для 7-ми градаций яркости при естественном уровне внешней освещенности. Дискретность кода одной градации яркости каждого цвета равна 1/8 макси-

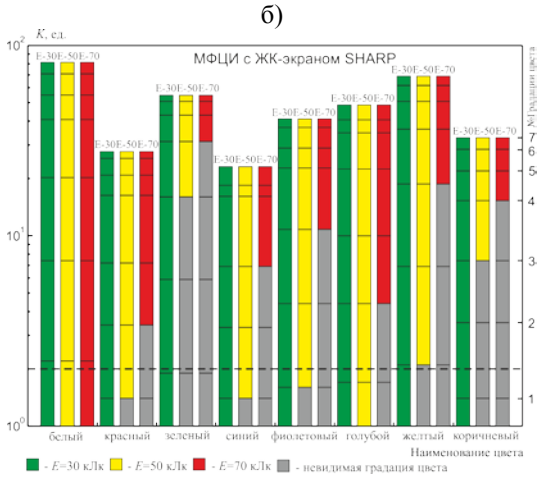
мального значения кода этого цвета, т.е. 8 бит.



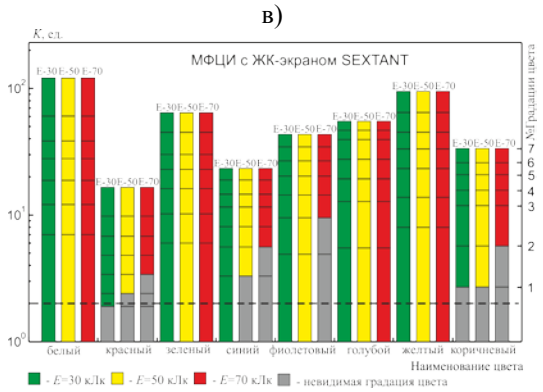
а)



б)



в)



г)

Рис.2. Результаты оценки яркостного контраста изображения на МФЦИ с ЖК-матрицами: а) SIEMENS, б) NEC, в) SHARP, г) SEXTANT.

Анализ рис.2 показывает, что число визуально наблюдаемых градаций яркости изображения существенно зависит от уровня внешней освещенности плоскости экрана МФЦИ и от примененных разработчиками МФЦИ схемотехнических решений по электрическому подключению и конструктивному закреплению ЖК-матрицы.

Серым цветом на рис.2 показаны визуально ненаблюдаемые на экране МФЦИ градации яркости в каждом цвете при соответствующем E. Пунктирной линией установлен заданный в техническом задании на разработку МФЦИ уровень 2:1 яркостного контраста изображения при максимальном E=70кЛк.

Заключение

Результаты экспериментов показывают, что достаточным по обеспечению заданного значения 2:1 яркостного контраста изображения среди анализируемых образцов МФЦИ можно считать индикатор, характеристики которого приведены на рис.2,а. Наибольший разброс по числу визуально ненаблюдаемых градаций относится к МФЦИ, характеристики которого приведены на рис.2,в. Образцы с характеристиками рис.2,б и рис.2,г могут использоваться в авионике после доработки их программного обеспечения в части специального подбора цифровых кодов цветовой палитры.

Список литературы

1. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие // Информационно-управляющие системы, СПб: ГУАП, 2005, 144 с.

2. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Бортовые средства отображения информации современных пилотируемых летательных аппаратов // В кн. Современные технологии / Под ред. С.А. Козлова и В.Л. Ткалич, СПб: СПбГУ ИТМО, 2004, с.154–165.

3. Парамонов П.П., Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Многофункциональные индикаторы на плоских жидкокристаллических панелях: наукоемкие аппаратно-программные решения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2004, №3(14), с.238–245.

4. Парамонов П.П., Ильченко Ю.А., Жаринов И.О. Теория и практика статистического анализа картографических изображений в системах навигации пилотируемых летательных аппаратов // Датчики и системы, 2001, №8, с.15–19.

5. Парамонов П.П., Ильченко Ю.А., Жаринов И.О., Тарасов П.Ю. Структурный анализ и синтез графических изображений на экранах современных средств бортовой индикации на плоских жидкокристаллических панелях // Авиакосмическое приборостроение, 2004, №5, с.50–57.

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АВИОНИКИ НА ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРАХ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Соколова Н.В., Григорьева И.В., Кузнецов С.В.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: igor_rabota@pisem.net

Введение

Современные тенденции в области создания бортовых цифровых вычислительных систем (БЦВС) направлены на разработку изделий в рамках развития концепции интегрированной модульной авионики (ИМА) [1-4]. Пример БЦВС ИМА приведен на рис.1.

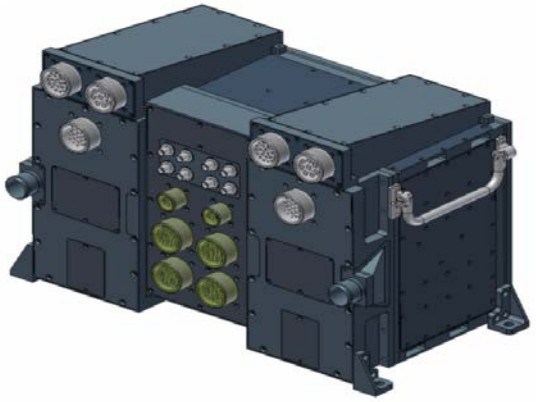


Рис.1. БЦВС структуры ИМА (фото).

Одним из подходов к проектированию БЦВС ИМА является подход, основанный на создании вычислительной системы с «виртуальным» процессором, т.е. создание такой многопроцессорной многомодульной вычислительной системы, внутренняя структура которой скрыта от функционального программного обеспечения (ФПО).

Применение виртуального процессора, т.е. внедрение технологии виртуализации в практику создания БЦВС, предполагает логическое объединение вычислительных ресурсов БЦВС, обеспечивающее программирование и конфигурирование БЦВС как единого целого, а не как набора аппаратных модулей в едином конструктиве.

1. Организация внутрисетевого логического обмена между приложениями

Схема информационного взаимодействия функциональных приложений «виртуальной» БЦВС представлена на рис.2. Аппаратная часть для реализации «виртуальной» БЦВС требует наличия коммутаторов сетевого интерфейса. Коммутаторы позволяют программному приложению, выполняемому на любом из процессорных элементов, абстрагироваться от физического адреса других абонентов и общаться с ними на уровне логических (виртуальных адресов), т.е. выполняемое приложение передает или запрашивает данные у абонента «*A*», а коммутаторы автоматически подключаются к аппаратуре, выполняющей в настоящее время функцию абонента «*A*».

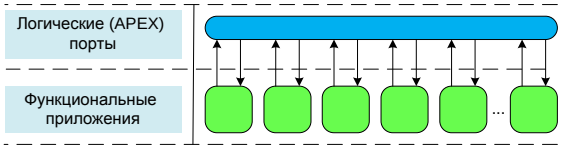


Рис.2. Схема взаимодействия функциональных приложений «виртуальной» БЦВС (APEX — APplication EXecutive).

При решении ресурсоемкой задачи операционная система (ОС) и средства разработки осуществляют декомпозицию задачи на подзадачи [5, 6], реализуемые на разных процессорных элементах БЦВС, при этом информационное взаимодействие «внутри» общей задачи осуществляется по тому же сетевому интерфейсу.

В этом случае БЦВС представляет собой совокупность абонентов логической сети типа «многократная звезда», т.е. сети, в которой обеспечивается коммутация элементов по схеме «каждый с каждым». Таким образом, обмен между абонентами *W, X, Y*, если *W≠X≠Y*, осуществляется безконфликтно. При этом физический отказ порта коммутатора не приводит к отказу сети. Эквивалентная схема физической среды БЦВС, поддерживающей бесконфликтный обмен между программными приложениями, приведена на рис.3.

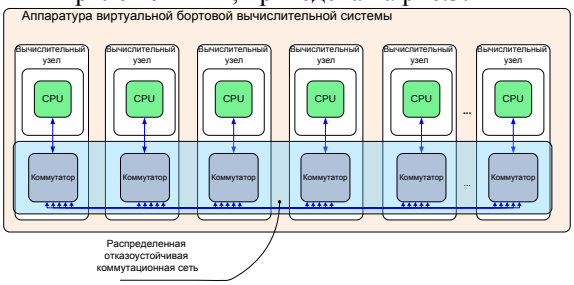


Рис.3. Логическая структура аппаратной части «виртуальной» БЦВС на основе распределенной отказоустойчивой коммутационной сети (CPU - Central Processing Unit).

Таким образом, автоматизированная среда конфигурирования «виртуальной» БЦВС обеспечивает на пользовательском уровне конфигурирование БЦВС как единого устройства, а не как набора отдельных аппаратных модулей в едином конструктиве. При этом осуществляется рациональное размещение функциональных приложений по аппаратным модулям исходя из априорной

информации о необходимых задаче вычислительных ресурсах и загруженности интерфейсов.

2. Поддержка функции диспетчеризации задач в БЦВС с технологией виртуализации

Диаграмма работы среды конфигурирования «виртуальной» БЦВС при решении задачи о назначении заданий на доступные вычислительные ресурсы приведена на рис.4.

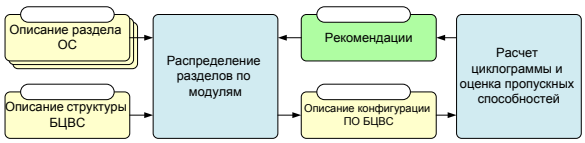


Рис.4. Диаграмма работы среды конфигурирования «виртуальной» БЦВС.

Компоненты «Описание раздела ОС» содержат требования к функциональным приложениям БЦВС, каждое из которых представлено в виде отдельного раздела операционной системы.

Компонент «Описание раздела ОС» представляет собой совокупность описаний отдельных требований к функциям приложения с декомпозицией функциональных задач на подзадачи.

Компонент «Описание структуры БЦВС» представляет собой описание аппаратного уровня физических возможностей компонентов БЦВС (доступные к использованию ресурсы).

Компонент «Распределение разделов по модулям» обеспечивает выявление соответствия разделов ОС и аппаратных компонентов, способных к решению назначаемой подзадачи.

Компонент «Описание конфигурации ПО БЦВС» реализует функцию формализации описания разделов (на уровне модели поведения). Компонент «Расчет циклограммы и оценка пропускных способностей» реализует оценки работоспособности БЦВС на основе расчета и моделирование поведения БЦВС с динамически сконфигурированными межмодульными связями. Компонент «Рекомендации» обеспечивает анализ соответствия результирующей циклограммы работы БЦВС и производительности доступных вычислительных ресурсов в каждой назначаемой динамической конфигурации.

В результате работы автоматизированной среды конфигурирования виртуальной БЦВС формируется множество конфигураций вычислительных узлов БЦВС, обеспечивающее распределение функциональных приложений среди доступных вычислительных ресурсов.

На рис.5 представлен пример распределения функциональных приложений на структуру БЦВС, полученный по результатам работы среды конфигурирования БЦВС с применением технологии виртуализации: 1, 2, 3, 4 — функциональные приложения БЦВС с разным уровнем вычислительной сложности и потребления ресурсов.

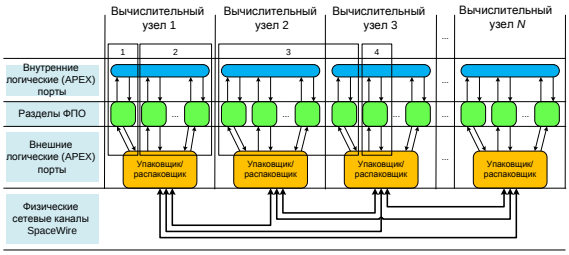


Рис.5. Распределение программных приложений по вычислительным узлам БЦВС ИМА.

Как видно из анализа рис.5 схема информационного взаимодействия функциональных приложений любого вычислительного узла строго соответствует приведенной на рис.2 схеме информационного взаимодействия функциональных приложений «виртуальной» БЦВС.

Заключение

Создание отказоустойчивых БЦВС в классе структур ИМА представляет собой перспективное направление развития современного авиаприборостроения. Реализация свойства отказоустойчивости осуществляется за счет динамического конфигурирования доступных в системе ресурсов и декомпозиции решаемой системой бортовой задачи.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

2. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №2, с.1-17.

3. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010, №1, с.12-20.

4. Парамонов П.П., Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели композиционного проектирования авионики // Известия вузов. Приборостроение, 2010, Т.53, №7, с.5–13.

5. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе // Известия вузов. Приборостроение, 2006, Т. 49, №6, с.41-50.

6. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы, 2010, №1, с.2-5.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ CuBr-ЛАЗЕРА

Кулагин А.Е.[1], Торгаев С.Н.[1,2]
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.ф-м.н., профессор
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, Зуева площадь, 1
E-mail: torgaev@tpu.ru

Лазеры на парах металлов, в частности, CuBr-лазеры, благодаря ряду уникальных свойств применяются достаточно широко для решения большого круга научных и практических задач [1]. Одним из наиболее перспективных применений лазеров такого типа является применение их в качестве усилителей яркости в активных оптических системах (лазерный проекционный микроскоп и лазерный монитор) [2]. Однако данная задача требует улучшение некоторых выходных параметров данного типа лазеров, например, увеличение частоты следования и длительности импульсов генерации. Одним из эффективных методов решения таких задач является математическое моделирование процессов в плазме лазера, в частности, в работе [3] рассматривается подробное моделирование CuBr-лазера. Однако модель, представленная в данной работе, имеет ряд недостатков, в том числе, учитывается экспериментальная форма тока, т.е. в модели отсутствует расчет электрической схемы накачки. Соответственно, целью нашей работы является разработка упрощенной математической модели CuBr-лазера с возможностью расчета схем накачки.

В основу данной работы положена нульмерная модель активной среды, то есть использующая усреднение по объему основных характеристик плазмы. Кинетическая модель включает в себя дифференциальные уравнения, описывающее изменения концентраций реагентов, входящих в состав плазмы, и заселенностей различных энергетических уровней атомов. Эти уравнения имеют вид

$$\frac{dN_k}{dt} = \sum_{m\ldots n} q_k^{m\ldots n} N_m \ldots N_n - \sum_{m\ldots n} q_n^{k\ldots m} N_k \ldots N_m, \quad (1)$$

где $q_k^{m\ldots n}$ – скорости реакций, приводящих к увеличению концентрации реагентов k в результате взаимодействия реагентов $m,\ldots,n$, а N_k – концентрация реагента k. Расчет сскоростей реакций с использованием максвелловской функции распределения и обоснование его справедливости для лазеров на парах металлов приведены в работах [1,2]. Уравнение вида (1) записывается и для плотности свободных электронов и имеет в своей правой части слагаемые, отвечающие за процессы ионизации атомов и рекомбинации электронов.

Также уравнения (1) для нижних и верхних рабочих уровней включают в себя слагаемые вида $\pm B \cdot \Delta N \cdot F$, где F – плотность фотонов (излучения), B – скорость вынужденного излучения, а инверсия населенности $\Delta N = N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1$, где N_2 и N_1 – соответственно заселенности верхнего и нижнего рабочих уровней, g_2 и g_1 – их статистические веса. Сама плотность фотонов описывается уравнением

$$\frac{dF}{dt} = \left(B \cdot \Delta N \cdot {l_d}/{l_c} - \gamma \right) F + \alpha \cdot A_{21} \cdot N_2. \quad (2)$$

В формуле (2) l_d и l_c – длины активной зоны и резонатора соответственно, коэффициент γ учитывает потери в резонаторе, A_{21} - вероятность спонтанного излучения, а α - вероятность спонтанного излучения вызвать вынужденное излучение и сформировать лазерный луч.

Изменение температуры электронов со временем описывается уравнением теплового баланса

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{R \cdot I_R^2}{V \cdot N_e} - \frac{Q_p}{N_e}, \quad (3)$$

где первое слагаемое отвечает за тепловое действие тока, текущего через плазму, а второе за мощность, затрачиваемую на ионизацию и возбуждение атомов, входящих в состав плазмы. Здесь обозначено R – сопротивление плазмы, I_R - ток через плазму, V – объем активной среды, N_e - плотность электронов, Q_p - плотность мощности, затрачиваемой на ионизацию и возбуждение атомов. Стоит отметить, что основной вклад в изменение температуры электронов вносят именно реакции возбуждения атомов из основного состояния и реакции ионизации атомов, так как энергии переходов для этих реакций значительно больше, чем у других, а также реакции опустошения и заселения верхнего рабочего уровня ввиду их большой интенсивности. В общем виде для i-ой реакции $Q_{p(i)}$ имеет вид

$$Q_{p(i)} = q_{k(i)}^{m\ldots n} N_m \ldots N_n \cdot E_{(i)},$$

где $E_{(i)}$ - энергетический вклад i-ой реакции в температуру электронов. Для реакции ионизации атома $E_{(i)}$ полагается равным температуре электронов, а для реакций сопровождающихся переходом с одного энергетического уровня на

другой, $E_{(i)}$ пропорционален разности энергий этих уровней.

Отдельный блок уравнений посвящен расчету электрической схемы накачки лазера. Расчет схем проводится стандартным образом. Эти уравнения связаны с физико-химическими параметрами активной среды только через сопротивление плазмы, что позволяет легко видоизменять этот блок уравнений, проводя, соответственно, расчет для разных схем накачки.

Отдельное внимание уделено расчету сопротивления плазмы. В основу этого расчета были положены результаты работы [4]. Формула для сопротивления имеет вид

$$R = 1,244 \cdot 10^{11} \cdot \frac{T_e^2}{N_e \cdot J},$$

где R – сопротивление в Омах, T_e – температура электронов в эВ, N_e – плотность свободных электронов в см$^{-3}$, а J – интеграл, имеющий вид

$$J = \int_0^{10T_e} \frac{E^{2,5}}{K_1 + K_2} \exp\left(-E/T_e\right) dE.$$

Здесь интегрирование идет по энергии электронов. K_1 отвечает за кулоновское рассеяние электронов на ионах и является сложной функцией концентраций ионов и температуры электронов, а K_2 отвечает за рассеяние на нейтральных частицах и также зависит от основных параметров плазмы (см. [3]).

Уравнения, входящие в построенную математическую модель, имеют нелинейный характер, поэтому их возможно решить только численно. Для данной задачи использовался математический пакет Wolfram Mathematica. Он включает в себя мощные алгоритмы численного решения систем дифференциальных уравнений. В нашем случае скорость решения уравнений являлась одним из основных требований к используемому математическому пакету, так как при работе с моделью нужно было смотреть, как изменение различных параметров влияет на выходные результаты, т.е. многократно проводить перерасчет большого количества дифференциальных уравнений. Также в этом пакете есть средства визуализации полученных зависимостей.

Построенная модель позволяет исследовать влияние различных параметров на процессы в плазме и выходное излучение. В том числе возможно прогнозировать форму, длительность и мощность импульса излучения. Расчеты по построенной модели производились для разных конфигураций схемы накачки и газового состава плазмы. Также модель позволила оценить, какие физико-химические процессы в плазме являются определяющими для лазера, а влияние каких несущественно. Это позволяет упростить математическую модель плазмы и обратить внимание на ключевые характеристики лазера при его конструировании. Например, модель хорошо подходит для оценки эффективности различных схем накачки лазера. Таким образом, модель помогает при разработке лазера подобрать оптимальные параметры активной среды и режим работы. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными (например, с данными из статьи [5]).

На рис. 1 представлены, полученные при моделировании, временные зависимости тока через газоразрядную трубку (ГРТ), напряжения на ГРТ и сопротивления активной среды лазера в период действия импульса накачки.

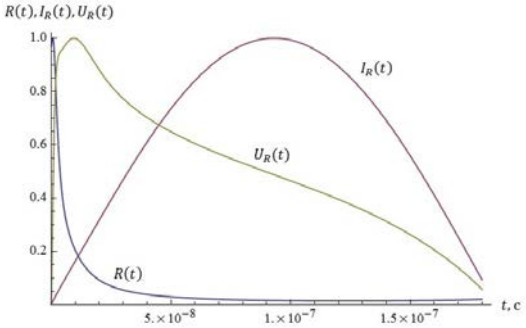


Рис. 1. – Временные зависимости напряжения на ГРТ, тока ГРТ и сопротивления активного элемента.

В дальнейшем планируется оптимизация разработанной модели с целью получения возможности оценки усилительных характеристик и радиального профиля пучка излучения. Данные параметры излучения являются весьма важными при разработке активных оптических систем.

Работа *выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №5.1307.2014.*

Литература

1. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – 2. В 2 т. Т.1 / Под ред. В.М. Батенина. – Физматлит, 2009. – 544 с.

2. 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

3. Торгаев С.Н. Кинетика активной среды CuBr-лазера с добавками H_2 и HBr: Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук/ – Томск, 2013. – 164 с.

4. Vuchkov N.K., Astadjov D.N., Sabotinov N.V. Parametric Study of the CuBr Laser with Hydrogen Additives // IEEE Journal of quantum electronics. – 1988. – Vol. 24. – № 9. – С. 1927–1935.

5. Vuchkov N.K., Astadjov D.N., Sabotinov N.V. Influence of the Excitation Circuits on the CuBr Laser Performance // IEEE Journal of quantum electronics. – 1994. – Vol. 30. – № 3. – С. 750–758.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА РАБОТУ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Лепунов А.В.
Научный руководитель: Патюков В.Г., д.т.н., профессор
Сибирский федеральный университет, 660074, Россия, г. Красноярск, ул. Киренского, 26
E-mail: tyomich_rtf@mail.ru

Срок активного существования (САС) космических аппаратов (КА), входящих в состав современных космических систем и комплексов – 10-15 лет, что позволяет существенно сократить количество запусков КА для развертывания и поддержания работоспособности орбитальных группировок.

На функционирование бортовой аппаратуры (БА) КА при ее эксплуатации влияют многочисленные факторы. Особое значение имеет воздействие полей ионизирующих излучений (ИИ) космического пространства.

При эксплуатации БА подвергается воздействию ИИ заряженных частиц естественного радиационного поля Земли (ЕРПЗ), галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ). ЕРПЗ образовано электронами и протонами, захваченными магнитосферой Земли, а ГКЛ и СКЛ — это потоки тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) — протонов, ядер химических элементов, ионов, обладающих относительно высокой энергией.

Потоки частиц с энергией до 1 МэВ при длительном воздействии на БА приводят к параметрическим и функциональным отказам, частицы более высоких энергий могут вызвать одиночные сбои [1]. Так, например, из-за эффектов одиночных событий зафиксированы отказы КА: Feng Yun I (1998), Feng Yun S II (1998), Iron 9906 (1997); из-за дозовых эффектов – Hipparcos (1993).

Применение полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС) в качестве компонентной базы КА сделало актуальной задачу оценки и прогнозирования устойчивости компонентов и узлов к радиационным воздействиям космического пространства.

Воздействие ИИ приводит к накоплению заряда в КМОП-структуре ИМС. Скорость возрастания заряда уменьшается при наличии внешней защиты (оболочка КА, смежная аппаратура, стенки прибора, дополнительный алюминиевый экран и т.п.).

Параметрический или функциональный отказ ИМС наступает при достижении предельной накопленной дозы (ПНД), определяющей её радиационную стойкость. Значение ПНД наименее радиационно-стойких ИМС определяет предельный САС всего КА [2].

Радиационный отказ для ИМС может быть обратимым, если он не вызвал дефектов структуры микросхемы или вторичных неисправностей. Накопленный под воздействием ИИ заряд с течением времени рассасывается (релаксирует).

В ИМС под воздействием радиации в каждый момент времени происходит накопление заряда и его релаксация. На величину ПНД существенно влияет локальное электрическое поле в структуре ИМС, задерживающее процесс релаксации. Поэтому в выключенном состоянии накопление заряда происходит медленнее, так как электрическое поле отсутствует и не препятствует релаксации заряда. В связи с этим ПНД в выключенном состоянии оказывается в несколько раз выше, чем во включённом. При периодическом чередовании включённого и выключенного состояний избыток заряда, накопленный во включённом состоянии, рассасывается в выключенном состоянии.

В настоящее время существует несколько методов защиты полупроводниковых ИМС от ИИ КА. Первый метод - установка на конкретные ИМС защитных экранов с расчетом для нужной орбиты. Но данный метод значительно увеличивает вес и плотность монтажа БА, что снизит количество функциональных устройств на борту КА, а следовательно и его эффективность. Второй метод – резервирование – способ повышения надежности аппаратуры, заключающийся в дублировании РЭА в целом или отдельных ее модулей или элементов. При резервировании катастрофический отказ наступает только после отказа основного элемента и всех резервных элементов. Однако в случае накопления доз, близких к предельным, имеет место период радиационно-стимулированного старения, и такой метод становится малоэффективным. Третий метод, хорошо зарекомендовавший себя в БА КА – системные методы повышения надёжности [3].

Самыми уязвимыми элементами БА при воздействии ИИ КА являются микросхемы памяти, поэтому необходимо уделить им основное внимание. Существует три метода её повышения:

1. замена существующих ИМС на более стойкие к воздействию радиации;
2. применение к ИМС аппаратного резервирования;
3. разработка программных алгоритмов для замены отказавших ячеек памяти.

Рассмотрим каждый из методов в отдельности.

1. Заменить ИМС на более радиационно-стойкий тип представляется затруднительным, так

как такие ИМС во много раз дороже коммерческих изделий и многие производители отказываются от их производства из-за низкой рентабельности.

2. Электронные приборы КА, как правило, резервируются с кратностью 2 или 3. Резервные комплекты могут находиться во включённом или выключенном состоянии («холодный» или «горячий» резерв). В свою очередь, аппаратура может использоваться в сеансовом или дежурном режиме.

В сеансовом режиме приборы включаются на определённый промежуток времени, а большую часть времени могут находиться в выключенном состоянии. Для аппаратуры сеансового режима определяющим является величина ПНД в выключенном состоянии. Для такой аппаратуры проще обеспечить длительный САС, требуется меньшая толщина защитного экрана, может использоваться менее радиационно-стойкая элементная база. Для равномерного и более глубокого рассасывания накопленной дозы радиации между сеансами нужно чередовать включение основного и резервного комплектов на предстоящий сеанс.

В дежурном режиме аппаратура должна функционировать практически постоянно, перерывы допускаются на ограниченное время и в определённые моменты. Для этого режима работы характерно, как правило, «горячее» резервирование аппаратуры, поэтому радиационная стойкость определяется ПНД включённого состояния. Если использовать «холодный» резерв, можно повысить радиационную стойкость аппаратуры. Для этого необходимо периодически через 1-2 месяца переводить резервированные комплекты из одного состояния в другое. При принудительном переключении режима накопленная во включённом состоянии доза после выключения рассасывается в течение времени, на три порядка большего, чем при испытаниях, и перед следующим включением практически становится равной величине дозы, накопленной в выключенном состоянии.

Использование ППР значительно повышает вероятность безотказной работы в условиях воздействия радиации. Однако аппаратное резервирование для отдельных микросхем применять нецелесообразно, поскольку это увеличивает количество элементов на плате. Кроме того, на этапе старения микросхем такой метод становится малоэффективным.

3. Эффективным методом является разработка программных алгоритмов для замены отказавших ячеек памяти [4]. Анализ использования сверхбольшой интегральной схемы (СБИС) памяти показывает, что в большинстве случаев остается не использованным (основной программой) свободное пространство адресов, что дает возможность повысить стойкость микросхем памяти путём обхода дефектных ячеек памяти и перенесения информации из них в свободное пространство адресов микросхем памяти.

Если совместить все вышесказанные методы в один, то получим наиболее эффективный метод защиты микросхем памяти при воздействии ИИ КА. На практике это выглядит следующим образом. При возникновении сбоя в рабочем комплекте БА происходит переключение на запасной. В это время комплект, выдавший ошибку, начинает самотестирование. При возникновении отказа в массиве памяти тестирующая программа помечает отказавшие ячейки памяти и восстанавливает её содержимое в свободных не дефектных ячейках. Затем производятся действия, необходимые для продолжения работы программы на данном комплекте.

С помощью приведённого метода удастся повысить радиационную стойкость микросхем ЗУ и остальных устройств, что приводит к увеличению САС КА.

Список литературы

1. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов// СТА. — 2001. — № 4.

2. Попов В.Д. Вероятность безотказной работы ИС при различных «запасах» по дозе ионизирующего излучения/ Радиационная стойкость электронных систем «Стойкость - 2001»: Научно-технический сборник// М.: Паимс. — 2001. — № 4.

3. Попов В.Д. Проблемы и возможности применения коммерческих интегральных схем в военной и космической технике// Chip News. — 1999. — № 5. — 28-32 с.

4. Поливанов А., Попов В. О возможности применения microPC в бортовых устройствах космических аппаратов — www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv_i/00_02/stat_70.htm

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ.

Литвишко Е.С., Горешнев М.А.
Научный руководитель: Лопатин В.В, д.ф.-м.н., профессор.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: litvishko1@rambler.ru

В лаборатории Томского политехнического университета активно развивается направление сушки древесины комбинированным методом. Создано несколько установок от экспериментальных до промышленных. Комбинированный метод включает в себя кондуктивную сушку при пониженном давлении совместно с ВЧ электромагнитным полем. [1] Применение объемного нагрева позволяет интенсифицировать процесс сушки, повысить, по сравнению с традиционными технологиями, качество древесины, сократить энергопотребление. При сушке древесины комбинированным методом обеспечивается равномерная передача энергии в объём заготовки, что: снижает затраты энергии в 2–3 раз по сравнению с традиционными технологиями сушки, снижает вероятность растрескивания древесины и сокращает время сушки в 1,5–2 раза [2].

Для понимания процессов, происходящих во время сушки, необходимо знать ряд важнейших параметров: температура, влажность и внутреннее избыточное давление. Эта информация помогает выбрать оптимальные режимы сушки, что в свою очередь выводит качество продукции на должный уровень.

Существует множество способов измерения влажности. Для контроля процесса сушки важно знать не только среднюю влажность, но и распределение влажности по объему древесины. Также ограничение на выбор метода накладывает и применения электромагнитного поля. В действующих установках применяется кондуктнометрический метод определения влажности (влагомер СВД – 04). Под воздействием электромагнитного поля ВЧ генератора контакты нагреваются, что приводит к снижению локального влагосодержания. Также проблема кондуктнометрических датчиков небольшой диапазон измерений – до 30%, а максимальный диапазон показаний до 95%. Причиной является свободная жидкость, перемыкающая контакты прибора. Это вносит коррективы в процесс измерения [2]. В связи с вышеперечисленными недостатками возникает необходимость поиска другого метода определения влажности. Проведя литературный анализ известных методов, выбран метод определения влажности с помощью ИК излучения. Данный метод используется для определения влажности конденсаторной бумаги [3]. Для измерения влажности древесины решение было реализовано следующим образом:
ИК приемник (фототранзистор) и излучатель (ИК диод) устанавливаются в древесине на фиксированном расстоянии 7мм. (Рис.1).

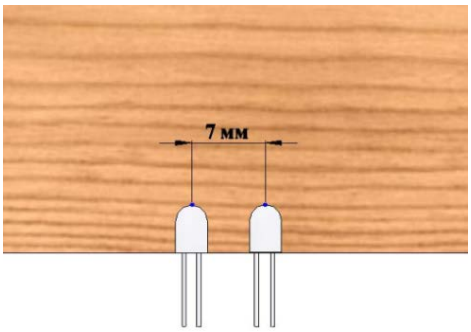


Рис.1 Расположение ИК диода (слева) и фототранзистора (справа) внутри древесины

На источник подается напряжение с учетом максимальной излучающей способности ИК диода, которое равно 1,4 В. Так как поглощательная способность жидкости больше чему древесины, излучение, проходящее через влажную древесину ослабевает в зависимости от влажности. Приемник улавливает изменение излучения и меняет свое сопротивление. Последовательно фототранзистору установлен резистор, на котором изменяется падение напряжения, пропорционально изменению сопротивления фототранзистора. Фиксируя изменения напряжения можно определить интенсивность ИК излучения. Так как влажность влияет на проникающую способность ИК излучения, по полученным данным можно определить процент содержания влаги.

Пара ИК диод - фототранзистор выбрана из следующих технических соображений: частота источника совпадает с максимальной чувствительностью приемника, а также максимально возможные мощность излучения и угол рассеивания.

Для определения возможности использования ИК излучения был проведен ряд экспериментов. Опыты проводились на древесине берёзы размером 30×150×400 мм в вакуумной камере объемом 0,1м^3. Сушка осуществлялась кондуктивным способом. Результаты сравнивалась с данными влагомера СВД – 04.

Датчики устанавливались, как показано на рис. 2.

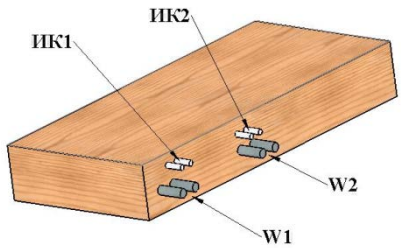


Рис. 2 Расположение тестируемых датчиков (ИК1,ИК2) и датчиков СВД – 04(W1,W2)

Для датчиков ИК1, W1 получены следующие результаты:

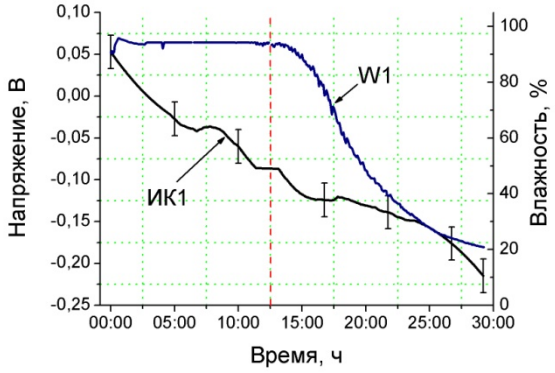


Рис. 3 Показания тестируемого датчика (ИК1) и показания датчика влажности СВД – 04 (W1)

Для датчиков ИК2, W2:

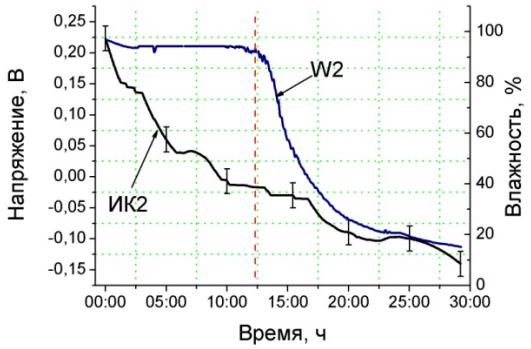


Рис. 4 Показания тестируемого датчика (ИК2) и показания датчика влажности СВД – 04 (W2)

Диапазон измерений СВД – 04 начинается после пунктирной линии. Из графиков видно следующее: тенденции изменения влажности тестируемых датчиков качественно схожи с показаниями кондуктометрических датчиков СВД – 04. Тестируемые датчики регистрируют больший диапазон изменения влажности. Существует большой стохастический разброс показаний тестируемых датчиков, что влечет за собой погрешность измерений.

Выводы:

- ИК излучение применимо для измерения влажности
- Датчики на основе ИК излучения регистрируют более широкий диапазон влажности, чем кондуктометрические датчики
- Имеется большая погрешность измерений, для устранения которой требуется более детальная теоретическая и практическая работа.

Список литературы:

1. Горешнев М.А., Казарин А.Н., Лопатин В.В., Секисов Ф.Г., Смердов О.В.
Комбинированный метод сушки древесины
ИФЖ 2013 №2 в печати

2. Горешнев М.А. Обработка древесины в электромагнитных и тепловых полях при пониженном давлении: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : Спец. 05.09.02; Томский политехнический университет; Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе; Науч. рук. В. В. Лопатин. – Томск Б.и., 2013 – 101с. : ил. – Защита сост. 18.12.2013г.

3. Пат. 2022257 Республика Беларусь, G01N21/86 Инфракрасный влагомер для измерения влажности конденсаторной бумаги / Белкин В.Г., Бычинов Е. В. и др., 4935419/25;заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им.А.Н.Севченко заявл. 12.05.1991; опубл. 30.10.1994.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ МЕТОДА MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION В МНОГОКАНАЛЬНЫХ РАДАРАХ

Манохин Г.О., Эрдынеев Ж.Т., Гельцер А.А.
Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: life.airever@gmail.com

I. Введение

Как известно, разрешающая способность радиолокатора по угловым координатам однозначно определяется размерами апертуры антенной системы (по отношению к длине волны). В ряде применений, таких как автомобильные радары, линейные размеры его антенной системы жёстко ограничены. Одним из путей обеспечения достаточной разрешающей способности антенной системы с малой апертурой, является использование методов сверхразрешения, основанных на анализе корреляционной матрицы сигналов, таких как MUSIC, EV и ESPRIT [1]. Применение этих методов требует выполнения ряда требований к используемым сигналам и параметрам приёмных каналов, которые в реальных условиях могут быть трудно выполнимы.

Данная работа посвящена исследованию влияния таких факторов, как степень корреляции сигналов, разброс фаз в каналах АР, количество отсчётов усреднения K и отношения сигнал-шум (ОСШ) на разрешающую способность метода MUSIC.

II. Обзор системы

На рис. 1 изображена типовая блок схема автомобильного радара. Принцип его работы основан на использовании ЛЧМ-сигналов, частота которых линейно изменяется во времени по пилообразному закону модуляции. Частота сигнала биений, который образуется при перемножении опорного и принятого сигналов, зависит от дальности и радиальной скорости цели или целей, если их несколько [2].

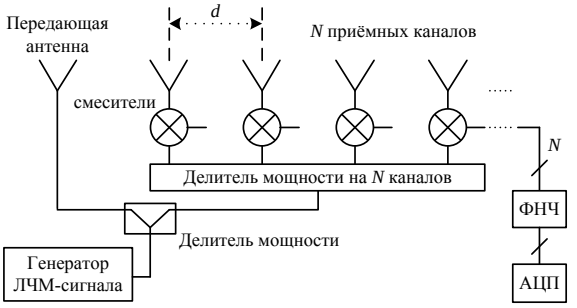


Рис. 1. Блок схема ЛЧМ-радара с АР состоящей из N антенных элементов

Информация об угловых координатах целей содержится в фазовых соотношениях сигналов между каналами, которые зависят от угла прихода отражённого целью сигнала. Главным достоинством ЛЧМ-радара в отношении углового разрешения выступает тот факт, что в спектральной области фазовые соотношения между каналами сохраняются. Это позволяет производить оценку дальности, скорости и угловых координат целей одновременно, за счёт перехода из временной области в частотную.

III. MUSIC – оценка угловых координат

Пусть на линейную эквидистантную АР, состоящую из N антенных элементов поступают сигналы от M узкополосных источников. Тогда модель сигнала $\mathbf{x}(t)$, принимаемого АР можно записать следующим образом:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t),$$

где $\mathbf{A} = \left[\mathbf{a}(\theta_1), \ldots \mathbf{a}(\theta_M)\right]$ – матрица направляющих векторов размерности $N \times M$, $\mathbf{a}(\theta_m) = \left[1, z^1, \ldots z^{N-1}\right]^T$ – направляющий вектор m-го источника сигнала размерности N, $z = \exp\left[-j\left(2\pi d/\lambda\right)\sin(\theta)\right]$, d – расстояние между элементами АР, $\mathbf{s}(t) = \left[s_1, \ldots s_M\right]^T$ – вектор сигналов размерности M, $\mathbf{n}(t)$ – вектор шумов приёмной аппаратуры АР (белый Гаусовский шум) размерности N.

Для оценки угловых координат целей MUSIC использует разложение пространственной корреляционной матрицы сигналов $\mathbf{R} = \left[\mathbf{x}(t)\mathbf{x}(t)^H\right]$ на собственные вектора и собственных значения:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A}\mathbf{R}_\mathbf{s}\mathbf{A}^H + \sigma^2\mathbf{I} = \mathbf{U}_\mathbf{s}\mathbf{\Lambda}_\mathbf{s}\mathbf{U}_\mathbf{s}^H + \mathbf{U}_\mathbf{n}\mathbf{\Lambda}_\mathbf{n}\mathbf{U}_\mathbf{n}^H.$$

$\mathbf{U}_\mathbf{s}$ и $\mathbf{U}_\mathbf{n}$ – собственные вектора корреляционной матрицы $\mathbf{R}$ сигнального и шумового подпространства соответственно. Выходная функция алгоритма MUSIC выглядит следующим образом:

$$P_{MUSIC}(\theta) = \left[\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{U}_\mathbf{n}\mathbf{U}_\mathbf{n}^H\mathbf{a}(\theta)\right]^{-1},$$

где $\mathbf{U}_\mathbf{n}$ – это матрица собственных векторов шумового подпространства, соответствующих

$N - M$ наименьшим собственным значениям матрицы **R**. Положения максимумов выходной функции MUSIC будут соответствовать оценке угловых координат целей.

IV. Результаты моделирования

Моделирование проводилось для линейной эквидистантной АР с N =16 и d = λ/2. В качестве тестового сигнала использовался ЛЧМ-сигнал с полосой 7 МГц. Скорости и дальности целей одинаковы. Угловое разрешение, которого можно достигнуть классическими методами определяется половиной ширины главного лепестка диаграммы направленности АР и в данном случае составляет около $3.5°$. Поэтому, для демонстрации увеличения разрешающей способности за счёт использования метода MUSIC две цели были разнесены на один градус: $\theta_1 = 0.7°$ и $\theta_2 = -0.3°$.

А. Степень корреляции сигналов

Разложение матрицы **R** на собственные вектора и собственные значения имеет смысл только в том случае, когда сигналы от отдельных источников и шум в приёмных каналах АР не коррелированы между собой. Высокая степень корреляции источников сигнала (коэффициент корреляции $r \geq 0.8$) приводит к деградации ранга матрицы **R** и невозможности разделения целей, так как число шумовых собственных значений превышает $N - M$.

Б. Разброс фаз в каналах АР

MUSIC чувствителен к амплитудным и фазовым ошибкам в приёмных каналах АР, возникающих из-за теплового шума и не идентичности антенной системы и элементов приёмного тракта, причём, он более чувствителен к ошибкам по фазе, нежели чем по амплитуде. Исходя из результатов моделирования, разброс фазы в каналах (относительного опорного) не должен составлять больше $\pm 0.1°$.

В. ОСШ и количество отсчётов усреднения K

Общим требованием для всех методов сверхразрешения, аналогичных MUSIC, является ОСШ не меньше 18 дБ. При более низких значениях, величина собственных значений шумового подпространства стремится к собственным значениям сигнального пространства, что приводит к непредсказуемым искажениям результатов оценки.

На практике, чтобы увеличить ОСШ корреляционную матрицу **R** усредняют по набору отсчётов (во временной или частотной области). Проблема состоит в том, что их количество всегда ограничено. В работе [3] авторы рекомендуют использовать по меньшей мере $K \geq 2N$ отсчётов, чтобы эффективное увеличение ОСШ составляло не меньше 3-х дБ.

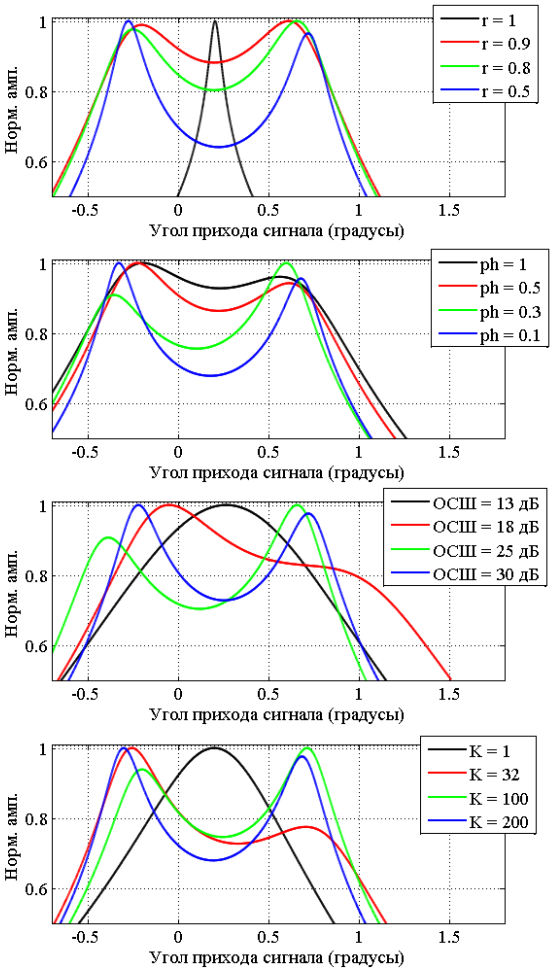


Рис. 2. Сверху-вниз: влияние коэффициента корреляции сигналов *r*, фазовых ошибок в приёмных каналах *ph (°)*, ОСШ и количества отсчётов усреднения *K* на результаты оценок угловых координат целей методом MUSIC

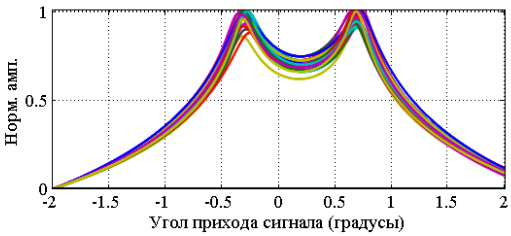


Рис. 3. Результаты многократной оценки угловых координат целей методом MUSIC (ОСШ 30 дБ, *r* = 0.5, *ph* = 0.1°, *K* = 200)

Список литературы

[1] Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – Мир, 1990.

[2] Stove A. G. Linear FMCW radar techniques //IEE Proceedings F (Radar and Signal Processing). – IET Digital Library, 1992. – Т. 139. – №. 5. – С. 343-350.

[3] Reed I. S., Mallett J. D., Brennan L. E. Rapid convergence rate in adaptive arrays //Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on. – 1974. – №. 6. – С. 853-863.

ОСУШИТЕЛЬ ВОЗДУХА НА ЭЛЕМЕНТЕ ПЕЛЬТЬЕ

Мусоров И.С.[1], Торгаев С.Н.[1,2], Чертихина Д.С.[1]
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.ф-м.н., профессор
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, Зуева площадь, 1
torgaev@tpu.ru

Под влажностью воздуха понимают количество содержащейся в нем влаги. Влажность не только определяет комфортность атмосферы помещений, но и является важным экологическим показателем. Влажность оказывает серьезное влияние на здоровье и общее эмоциональное состояние. Слишком высокая влажность может привести к увеличению биологических загрязнителей, таких как плесень, бактерии, вирусы, грибки и пылевые клещи, которые могут вызвать аллергию и различные респираторные заболевания. Также она может стать причиной артрита, повышения усталости и мигрени. Особенно сильно реагируют на высокую влажность больные гипертонической болезнью, атеросклерозом, люди с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями. При сильно влажном воздухе (80…95%) возможны обострения и приступы. При температуре окружающей среды +25°С и выше и одновременно влажном воздухе нарушается отдача тепла с поверхности кожи, и организм может перегреться [1].

Решить все эти проблемы помогают осушители воздуха. Приборы, основанные на различных физических принципах, помогут снизить влажность воздуха в помещении, автоматически поддерживать комфортные условия окружающей среды. Осушители воздуха бывают четырех основных типов: адсорбционные, компрессорные, роторные и осушители на элементе Пельтье [1].
Адсорбционные осушители содержат в себе специальное вещество – адсорбент, которое способно поглощать влагу из воздуха. Причем, чем выше влажность, тем активнее будет идти этот процесс. Приборы не имеют подвижных частей, не потребляют электроэнергии, абсолютно бесшумны в работе и безопасны в эксплуатации. Однако эти приборы имеют ряд недостатков. Так, количество поглощаемой влаги очень невелико, а сам адсорбент имеет свойство насыщаться влагой, в результате чего его способность поглощать влагу понижается. В подобных приборах, адсорбент либо заменяют на новый, либо «заряжают», тем или иным способом «выделяя» из него влагу обратно в окружающую среду. Тем не менее, подобные приборы широко применяются для небольших помещений [1].

В компрессорные (испарительные). Влажный воздух из помещения направляется на сильно охлажденную поверхность – испаритель (охлажденный радиатор), на котором влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется, и, впоследствии, стекает в специальную емкость. Далее воздух проходит через конденсатор – нагретый радиатор – и поступает обратно в помещение. Это нужно для того, чтобы прибор не охлаждал помещение. Охлаждается испаритель так же, как это происходит в обычном бытовом холодильнике (газ-хладагент сжимается компрессором и направляется в испаритель, где, при резком расширении, охлаждается). Такие приборы обычно обладают высокой эффективностью осушения – до десятков (и даже сотен в промышленных моделях) литров в сутки, часто комплектуются встроенными гигростатами (приборами, управляющими работой осушителя, в зависимости от влажности). Однако они имеют достаточно большие габариты и энергопотребление [1].

Роторные адсорбционные приборы являются достаточно новым классом осушителей, комбинирующий, в некотором смысле, принципы работы двух предыдущих. Прибор имеет медленно вращающийся ротор, заполненный адсорбентом (веществом, поглощающим влагу из воздуха). Через ротор продувается два потока воздуха. Влажный воздух из помещения проходит через большую часть поверхности ротора (85%) и отдает влагу адсорбенту, в обратном направлении через меньшую часть поверхности ротора продувается подогретый воздух регенерации, который отбирает влагу у адсорбента. Данные приборы работают несколько тише и потребляют меньше энергии, чем компрессорные [1].

Осушители, основанные на технологии Пельтье. Это – приборы, аналогичные предыдущим, за тем исключением, что вместо испарителя в них присутствует элемент Пельтье — это термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого базируется на эффекте Пельтье — возникновении разности температур при протекании электрического тока. Приборы существенно тише компрессорных, но обладают небольшой эффективностью осушения.

В работа элемента Пельтье основана на контакте двух проводящих материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт таких материалов, электрон приобретает энергию, необходимую для перехода в более высокоэнергетическую зону другого полупроводника. Охлаждение полупроводника происходит за счет поглощения этой энергии. А нагревание места контакта полупроводников происходит за счет протекания тока в обратном направлении.

В состав элемента Пельтье входит несколько пар полупроводниковых параллелепипедов — одного n-типа и p-типа в паре, соединенных при помощи металлических перемычек. В тоже время металлические перемычки являются термическими контактами и изолированы непроводящей плёнкой или керамической пластинкой. Пары полупроводников соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар с разным типом проводимости, чтобы вверху были одни последовательности соединений (n->p), а снизу противоположные (p->n). Через все параллелепипеды последовательно протекает электрический ток. В зависимости от направления тока одна из сторон элемента Пельтье охлаждается, а другая нагревается. Таким образом, электрический ток переносит тепло с одной стороны элемента Пельтье на противоположную и создаёт разность температур [2].

Если охлаждать нагревающуюся сторону элемента Пельтье, например, при помощи радиатора и вентилятора, то температура холодной стороны становится ещё ниже. В одноступенчатых элементах, в зависимости от типа элемента и величины тока, разность температур может достигать приблизительно 60-70 К.

На рис.1 приведена, предложенная нами, структурная схема осушителя воздуха.

Рис.1 структурная схема осушителя воздуха, где ВИП – вспомогательный источник питания, МК – микроконтроллер.

Устройство построено на модуле Пельтье TEC1-12706 с максимальным градиентом температуры – 66 К. Регулируемый источник тока, управляется с помощью микроконтроллера семейства STM32F100. Величина выходного тока задает градиент температур на модуле Пельтье. Для эффекта осушения воздуха, необходимо добиться достижения на холодной стороне модуля температуры, которой соответствует точка росы, т.е. температуры, при которой влага будет конденсироваться и стекать во влагоприемник и зависит от температуры окружающей среды и влажности воздуха в помещении. Для отслеживания этих параметров используются датчик температуры DS18B20 и датчик влажности, показания датчиков выводятся на дисплей. По обеим сторонам модуля Пельтье так же расположены датчики температуры. Таким образом, можно будет предотвратить перегревания горячей стороны модуля Пельтье и охлаждения холодной стороны модуля, ниже точки росы, что в свою очередь поможет увеличить энергоэффективность прибора. Регулировать температуру холодной стороны можно с помощью градиента температур между двумя сторонами модуля, изменяя величину тока протекающего через элемент Пельтье, либо регулируя интенсивность охлаждения горячей стороны.

Так же в целях экономии, осушителю можно задать величину относительной влажности, по достижению которой, основная энергопотребляющая часть будет отключена, и устройство будет находиться в режиме мониторинга окружающей среды. В случае превышения заданной влажности устройство возобновит работу, с целью снижения влажности в помещении.

Таким образом, предложенный осушитель воздуха позволит эффективно производить осушение в бытовых условиях (в небольших помещениях). При этом за счет введения дополнительных датчиков температуры прибор позволяет поддерживать оптимальный режим работы в зависимости от температуры воздуха и влажности в помещении. Тем самым обеспечивается энергоэффективность прибора.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №5.1307.2014.

Литература

1. Анализ использования основных методов осушения воздуха / Е.П. Вишневский // Технический бюллетень. – 2003. – № 1. – С. 4–6.

2. Иоффе, А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. –М: Изд-во АН СССР, 1960. – 188 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ТРЁХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА ФОТОКАМЕРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОРТОФОТОСЪЁМКИ

Нгуен Чонг Иен
Научный руководитель: Белянин Л. Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: trongyen_bn_87@yahoo.com

На кафедре точного приборостроения ИНК ТПУ разрабатывается трёхосный гиростабилизатор (ГС) фотокамеры для проведения ортофотосъёмки с лёгких или сверхлёгких летательных аппаратов (ЛА). В приборе реализован принцип двухступенчатой стабилизации, когда одноосный ГС устанавливается на стабилизированной в плоскости горизонта раме. Особенностью конструкции разрабатываемого ГС является установка его платформы на раме с помощью одного шарикоподшипника А700084 облегченной серии с большим посадочным диаметром внутреннего кольца (120 мм). Такое решение продиктовано необходимостью сохранить в центре ГС свободное пространство для размещения там объектива фотокамеры.

Прибор должен обеспечивать в процессе аэрофотосъёмки стабилизацию оптической оси объектива в вертикальном положении, а также стабилизацию фотокамеры в азимуте относительно плоскости географического меридиана. Причём, должна быть обеспечена возможность изменения с пульта управления ориентации оси фотоснимка в азимуте и визуализация фактического значения угла, характеризующего эту ориентацию. Для обеспечения перечисленных выше функций ГС должен иметь систему азимутальной коррекции (САК), предназначенную для автоматической выдержки определенного заданного направления платформы стабилизатора в азимуте. Подобные системы фактически используются во всех самолётных курсовых системах [1], а также во многих реализованных трёхосных гиростабилизаторах. Анализ существующих САК гироскопических приборов и систем, а также стремление обеспечить выполнение указанных выше дополнительных функций позволили составить обобщённую структурную схему системы азимутальной коррекции ГС, представленную на рис. 1.

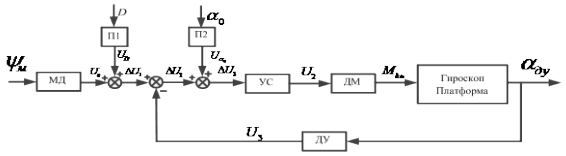


Рис. 1 - Структурная схема САК трехосного ГС

Режим азимутальной коррекции заключается в следующем. Магнитный датчик (МД) измеряет угол между горизонтальными проекциями продольной оси ЛА и вектора напряженности магнитного поля Земли, также являющийся углом поворота рамы ГС относительно направления на магнитный Север. Датчик угла (ДУ) измеряет угол повороты платформы относительно рамы. Сигнал магнитного датчика суммируется с сигналом, характеризующим величину магнитного склонения *D*. Таким образом формируется сигнал, характеризующий положение рамы и продольной оси ЛА в азимуте относительно плоскости географического меридиана, т.е., характеризующий угол рыскания ψ. После вычитания из этого сигнала сигнала с датчика угла получаем сигнал, характеризующий угол рассогласования между положением платформы и плоскости географического меридиана. Обнуление этого сигнала замкнутой системой коррекции приведёт к тому, что платформа, фотокамера и, в частности, ось фотоснимка будут стабилизированы в направлении на географический Север. Для обеспечения требуемого азимута платформы и фотокамеры в схеме на рис.1 введён дополнительный сумматор, на который подается сигнал, характеризующий требуемую ориентацию платформы в азимуте α_0. Сигнал с выхода сумматора усиливается усилителем УС и поступает на датчик момента ДМ, создающий момент $M_{дм}$ вокруг оси прецессии гироскопа.

Задачей данной работы является поиск оптимальной с позиции простоты реализации и массогабаритных характеристик функциональной схемы САК данного ГС.

Проблема состоит в том, что особенности конструкции ГС, отмеченные во вводной части данной статьи не позволяют использовать в системе коррекции доступные однооборотные аналоговые или цифровые преобразователи угла. Логичным и, по-существу, единственным решением проблемы является использование многооборотного преобразователя угол – цифровой код (энкодера), на валу которого закреплено зубчатое колесо, входящее в зацепление с шестерней большого диаметра на платформе.

В качестве магнитного датчика в курсовых системах широко применяются индукционные трехзондовые либо двухзондовые датчики (ИД) [1]. В данном случае был выбран двузондовый ИД типа ИД-6 серия1, серийно производимый в России. Чувствительным элементом последнего являются два взаимно перпендикулярных дифференциальных феррозонда.

В качестве гироскопа был выбран гироузел типа ГУА-2Д, по оси подвеса которого установлен индукционный рамочный датчик момента [2]. При этом последний переведён в режим работы на постоянном токе.

Таким образом, в системе используются цифровой ДУ, аналоговый магнитный датчик курса и аналоговый датчик момента. В результате этого создалась нетипичная ситуация. Ниже предложены несколько вариантов решений возникающей проблемы.

Первый вариант. Преобразуем цифровой код на выходе энкодера в аналоговый сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Тогда система будет работать только с аналоговыми сигналами. При этом, как правило, применяется дополнительный коррекционный механизм [1], включающий СКВТ и другие электромеханические элементы. В результате усложняется конструкция, а также ухудшаются массогабаритные характеристики стабилизатора.

Второй вариант. Преобразуем два аналоговых сигнала ИД в один цифровой, характеризующий угол, определяющий ориентацию в азимуте корпуса датчика. Для этого сигнальные обмотки феррозондов включим по схеме фазовращателя. Сдвиг фазы полученного таким образом сигнала по отношению к некоторому опорному сигналу пропорционален измеряемому углу. Такое решение реализовано в непрерывном цифровом инклинометре ИН1-721 [3], а также в магнитометрическом многоточечном инклинометре ИММ 73-120/60 [4]. Сдвиг фазы, а, по-существу, временной интервал, преобразуется сначала в пропорциональное ему число импульсов, а затем, с помощью двоичного счетчика – в двоичный код. В этом случае все операции суммирования на рис. 1 должны выполняться в цифровом варианте, а выходной цифровой сигнал последнего сумматора должен быть преобразован в аналоговый.

Третий вариант. Преобразуем аналоговые выходные сигналы сигнальных обмоток ИД, пропорциональные двум горизонтальным проекциям магнитного поля Земли, а именно, пропорциональные синусу и косинусу угла $\psi_м$, в цифровые коды с помощью аналого – цифрового преобразователя (АЦП). Полученные коды подадим на микропроцессор МП. Последний должен выполнять следующие функции: вычисление угла $\psi_м$ по численным значениям двух проекций по соответствующему алгоритму; выполнение суммирования последнего с выходным кодом энкодера, а также с кодами, соответствующими магнитному склонению и заданному углу азимута платформы; выведение значения фактического азимута платформы на индикатор. Выходной цифровой код микропроцессора преобразуется в аналоговый сигнал, поступающий на вход усилителя. Данный вариант значительно проще в реализации по сравнению с вторым, поскольку не требует формирования специального опорного сигнала и может обеспечить квазинепрерывный режим работы системы коррекции [3, 4].

Функциональная схема САК, построенной по третьему варианту представлена на рис. 2. Генератор Г служит для питания индукционного датчика ИД а также для создания опорного напряжения для демодуляторов ДМ1, ДМ2. Сигналы переменного тока на несущей частоте с выхода сигнальных обмоток ИД, пропорциональные синусу и косинусу угла $\psi_м$, проходят через демодуляторы ДМ1, ДМ2 (фазочувствительные выпрямители), в результате чего преобразуются в сигналы постоянного тока. Полученные сигналы поступают на АЦП, управляемый МП. На выходе АЦП получаются двоичные коды, поступающие на МП, в котором выполняются математические вычисления, отображаемые условно блоками и сумматорами (рис. 2). Блок вычисления БВ вычисляет арктангенс отношения кодов, соответствующих синусу и косинусу угла $\psi_м$. Полученный код суммируется с кодом, соответствующим значению магнитного склонения *D*, полученному от задатчика магнитного склонения ЗМС. Далее, после вычитания выходного кода энкодера будет получен код текущего азимута платформы, который выводится на индикатор азимута ИА. Код текущего значения азимута платформы суммируется с кодом, соответствующим его заданному значению, полученному от задатчика азимута ЗА. В результате на выходе МП будет цифровой код, соответствующий отклонению платформы от заданного направления в азимуте. С помощью преобразователя код-напряжение ПКН итоговой код преобразуется в аналоговый сигнал, поступающий через усилитель на обмотку управления датчика момента ДМ.

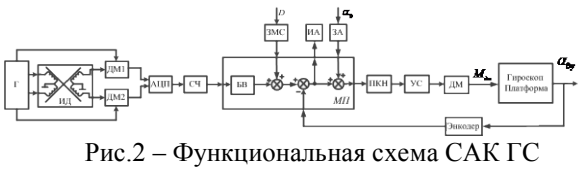


Рис.2 – Функциональная схема САК ГС

Третий вариант будет реализован в экспериментальном образце ГС.

Литература

1. Богданченко Н. М. курсовые системы и навигационные вычислители самолетов гражданской авиации. – М: Транспорт, 1978. -271 с.

2. Нгуен Чонг Иен. Разработка устройства передачи питания и информации на платформу трехосного гиростабилизатора// Современные техника и технологии : сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г. : в 3 т. / (ТПУ) . – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. - Т. 1. - С. 337-338.

3. Исаченко В. Х. Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987. – 216 с.

4. Инклинометр магнитометрический многоточечный ИММ 73-120/60: Техническое описание и инструкция по эксплуатации АЯЖ 1.000.018 ТО.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗРЯДОВ ПУТЕМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Чурсин Ю.А., Опольский В.В.
Научный руководитель: Чурсин Ю.А., к.т.н, доцент
Томский политехнический университет
E-mail: gorificator@gmail.com

Введение

В настоящее время высоковольтные разряды находят применение в различных отраслях техники: ионизация воздуха, дефектоскопия, самооборона и т. п. Для преобразования низкого напряжения в высокое применяются различные способы: от блокинг-генераторов до резонансных цепей. В данной статье будет рассмотрена силовая часть лабораторного стенда системы электронного зажигания.

Схема эксперимента

Схема эксперимента показана на рисунке 1.

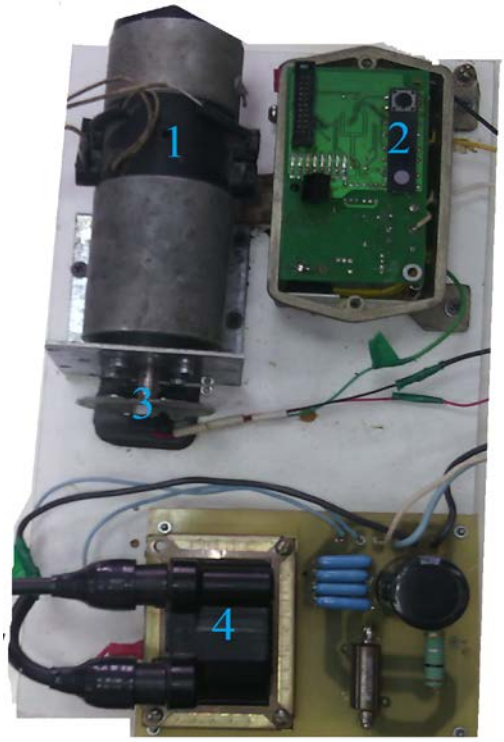


Рис.1. Схема эксперимента

Двигатель постоянного тока (1) имитирует вращение двигателя внутреннего возгорания. На ось закреплен диск с прорезями, проходящий через датчик Холла (3). При вращении датчик фиксирует прохождение прорези и подает сигнал на цифровую часть (2) установки, которая высчитывает частоту вращения и в зависимости от нее регулирует длину импульса, подаваемого на силовой транзистор IRG4PC50F[1]. При открытии транзистора в силовой части (4) возникают переходные процессы, которые будут рассмотрены ниже. Цифровая часть прибора управляется микропроцессором stm32f103[2], программный код был написан в среде разработки IAR Embedded Workbench[3].

Расчет переходных процессов в электротехнике производится по двум основным формулам:

$$I = C\frac{dU}{dt}, U = L\frac{dI}{dt}\ [4]$$

Главное следствие, на котором строится силовая часть: чем быстрее изменение тока в катушке индуктивности, тем выше на ней напряжение. Порядок переходного процесса определяется количеством реактивных элементов в цепи. Чтобы получить оптимальный скачок напряжения, нужно построить цепь не ниже второго порядка.

В основе силовой части лежит катушка зажигания от автомобиля ГАЗ-3110 [5], которая представляет собой трансформатор с большим коэффициентом трансформации.

Принципиальная схема силовой части приведена на рисунке 2:

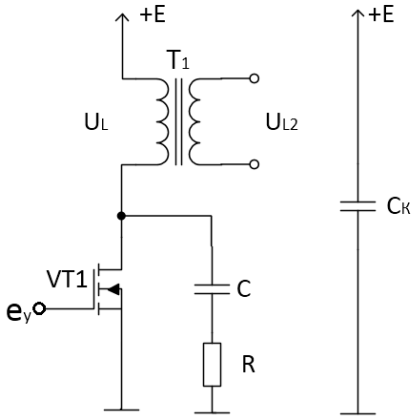


Рис.2. Принципиальная схема силовой части

При подаче управляющего импульса транзистор переходит в режим насыщения и через первичную обмотку трансформатора начинает нарастать ток, описываемый уравнением

$$i(t) = \frac{E}{R_{об}} - \frac{E}{R_{об}}e^{-t\frac{R_{об}}{L}}$$

Где L – индуктивность первичной обмотки, Rоб – активное сопротивление первичной обмотки. В это же время конденсатор разряжается через резистор R до нулевого напряжения вследствие малого сопротивления резистора (6.8 Ом). транзистор закрывается, индуктивность стремится сохранить то же значение силы тока, что и до момента закрытия, поэтому формирует на себе большое напряжение. Так как в схеме присутствует конденсатор, то переходный процесс будет представлять собой затухающие колебания с частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{(R_{об} + R)^2}{4L^2}}$$

и скоростью затухания

$$e^{-\frac{(R+R_{об})}{2L}t}$$

Напряжение на первичной обмотке прямо пропорционально начальному значению тока, а значит прямо пропорционально длине управляющего импульса. Выходное напряжение снимается с вторичной обмотки катушки зажигания. Конденсатор Ск является компенсатором внутреннего сопротивления источника питания.

Результаты и обсуждения

Для проверки теории была собрана модель в программном пакете NI Multisim 10 и сняты показания напряжения на первичной обмотке с виртуального осциллографа (Рисунок 3).

Рис.3. Показания виртуального осциллографа

В ходе эксперимента на двигатель постоянного тока подавалось напряжение, управляющими кнопками регулировалась длина управляющего импульса, а форма выходного напряжения регистрировалась на осциллографе с помощью высоковольтного щупа (желтым цветом выделено напряжение на вторичной обмотке, синим – на первичной)

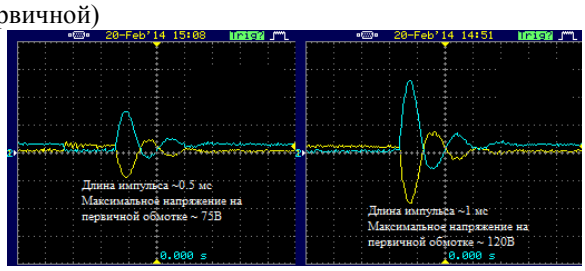


Рис.4. Напряжение на первичной и вторичной обмотке

Измерение тока через катушку путем измерения напряжения на высокомощном малоомном резисторе.

Из осциллограмм видно, что реальная форма напряжения соответствует теоретическим расчетам и компьютерной модели. Наблюдается существенная зависимость выходного напряжения от длины управляющего импульса. Также стоит отметить, что при больших значениях длина импульса в форме выходного напряжения наблюдаются нелинейные искажения, которыми можно пренебречь.

В ходе эксперимента были проверены теоретические основы переходных процессов, в частности уместность допущений (замена транзистора идеальным ключом, пренебрежение влиянием вторичной обмотки на первичную и т. п.) и поведение силовой части схемы при непрерывной подаче импульсов с большой частотой.

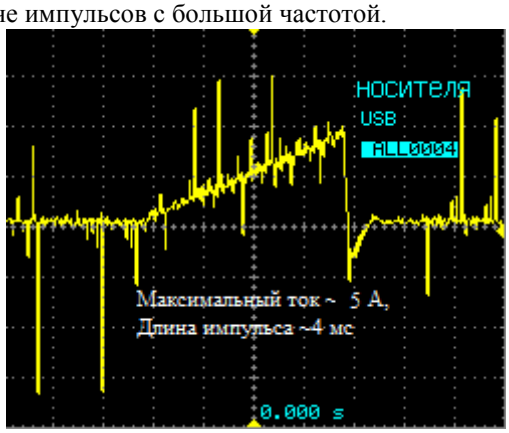


Рис.5. Ток через индуктивность

Заключение

Исходя из полученных результатов была подобрана оптимальная длина импульса: подавать импульс дольше, чем $3\frac{L}{R_{об}}$, в данной схеме – 5 мс не имеет смысла, а при частоте вращения более 200 об/с схема перестанет выполнять свою функцию. Выходное напряжение на холостом ходу при длине импульса 1 мс составляет около 25 кВ, что достаточно для пробоя воздуха. Емкость компенсирующего конденсатора составляем 2200 мкФ, номинальное напряжение – 100 В. При питании от машинного аккумулятора данный конденсатор может отсутствовать. Ввиду того, что выходное напряжение меняет знак, гасящие конденсаторы должны быть неполярными, например – пленочными.

В описываемой схеме поставлены четыре конденсатора по 220 нФ, соединенные параллельно. Резисторы следует выбирать большой мощности, не менее 2 Вт.

В дальнейшем планируется продолжить исследование данного прибора в различных условиях (в частности исследование влияния реактивной нагрузки на переходные процессы)

Список литературы

1. IRG4PC50F Datasheet/ http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irg4pc50f, свободный. —Яз. англ.

2. Optimizing C/C++ Compilers and Debuggers from IAR Systems - IAR/ http://www.iar.com/Products/IAR-Embedded-Workbench/, свободный. —Яз. англ.

3. STM32F103RB Mainstream Performance line, ARM Cortex-M3 MCU with 128 Kbytes Flash, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN / http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1031/LN1565/PF164487, свободный. —Яз. англ.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Изд-во Гардарики, 2007

5. Карягин А. В., Соловьёв Г. М., Устройство, обслуживание и правила движения автомобилей. Военное издательство Министерства Обороны Союза ССР, Москва, 1957 год

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ

Отузбаева Д.К.
Научный руководитель: Семенов Э.В., д.т.н., профессор
ТУСУР, 634050 Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40
E−mail: darina.30baeva@yandex.ru

В настоящее время импульсная техника получила широкое развитие в радиотехнике, электронике и вычислительной технике. Совершенствование импульсных функциональных устройств привело к росту требований к контрольно-измерительной аппаратуре, используемой на этапах проектирования и отладки систем. Используемые ранее универсальные малосигнальные *S*–параметры не позволяли точно описывать характеристики нелинейных элементов, работающих на импульсных сигналах.

Таким образом появилась необходимость в разработке аппаратуры, позволяющей одновременно работать с импульсными сигналами и поводить нелинейные измерения. Наиболее подходящими для данных целей являются векторные нелинейные анализаторы цепей с возможностью измерения так называемых *X*–параметров. Однако *X*–параметры приемлемы только случая воздействия на объект узкополосными сигналами.

Одним из альтернативных вариантов является использование в качестве нелинейного измерителя характериографа, измеряющего нелинейные вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики однопортовых устройств на импульсном сигнале с заданной конечной длительностью. Однако вопросы точности данного вида измерителя не решены, поэтому в данной статье предложен метод повышения метрологических свойств измерительной системы, путем использования тестовых импульсов разной формы [1].

Структурная схема характериографа приведена на рис. 1. Назначение и технические характеристики приведены в [2].

На рисунке 2 изображена схема, используемая для определения передаточной характеристики регистрирующего устройства, где Г − генератор тестовых импульсов, РО − референсный осциллограф, РУ − регистрирующее устройство. Сигнал, зарегистрированный референсным осциллографом LeCroy, который работает с частотой выборки 10 Гвыб/с и имеет полосу пропускания 600 МГц будем считать сигналом, полученным с выхода генератора, а именно $S_1(t)$, тогда сигнал $S_2(t)$ – сигнал, полученный с регистрирующего устройства.

В результате прохождения сигнала по измерительному тракту возникают различные искажения, чтобы найти степень их воздействия и дать количественную оценку погрешностей измерений, возникающих при их воздействии необходимо знать отклик системы на каждую форму импульсов. Для этого необходимо знать передаточную характеристику регистрирующего устройства PXI−5114 с частотой дискретизации 250 МВыб/с в реальном времени и 5 ГВыб/с в эквивалентном масштабе.

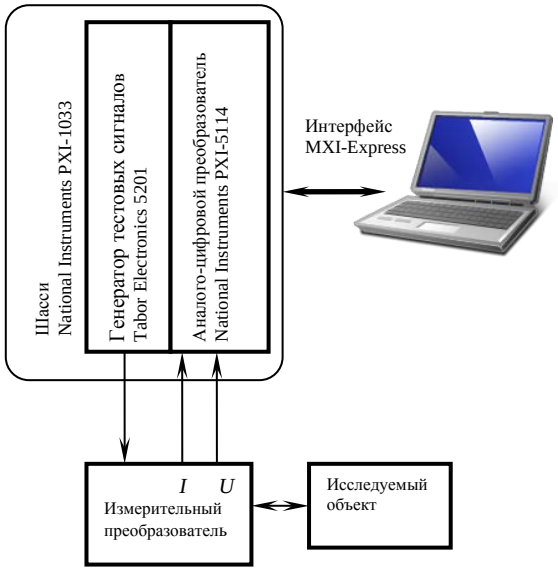


Рис. 1. Структурная схема системы для измерения ВАХ и ВФХ сверхширокополосным импульсом

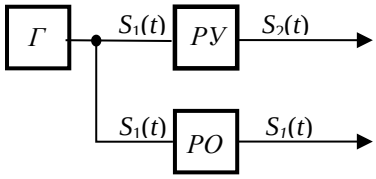


Рис. 2. Структурная схема определения передаточной функции регистрирующего устройства

На рисунке 3 показан график, где $H(f)$ − передаточная функция исследуемого регистрирующего устройства PXI − 5114. Способ нахождения характеристики описан в [3].

Сигнал принятый регистрирующим устройством сдвинут во времени на величину группового времени запаздывания. Чтобы сравнить сигналы с генератора и регистрирующего устройства и дать количественную оценку систематической погрешности необходимо компенсировать групповое время запаздывания для этого найдем ФЧХ (фазочастотная характеристика) (1).

$$\varphi = \mathrm{Im}\left[H(\omega)\right] / \mathrm{Re}\left[H(\omega)\right], \qquad (1)$$

где Im(·)–мнимая часть выражения, Re(·)–действительная часть выражения в скобках.

Сигнал, принятый регистрирующим устройством отличается от переданного на величину τ – группового времени запаздывания.

$$\tau = d\varphi / dt = \Delta\varphi / \Delta t = \left| \sum_{i=1}^{n} \frac{(\varphi_i - \varphi_{i+1})}{(t_i - t_{i+1})} \right|, \quad (2)$$

где n – количество отсчетов функции ФЧХ и вектора времени соответственно.

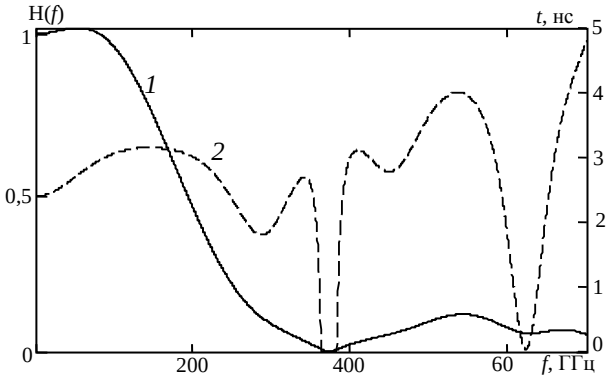


Рис. 3. модуль передаточной функции исследуемого осциллографа (кривая *1*), групповое время запаздывания (кривая *2*)

В качестве тестовых импульсов рассмотрим 3 формы импульсов, длительностью 100 нс: трапециевидный, гауссовский, импульс экспоненциальными фронтами [3]. Зададим импульсы с соответствующей для референсного осциллографа частотой дискретизации и найдем отклик системы на каждый из этих импульсов, для этого воспользуемся формулами (3, 4).

$$S(\omega) = F\left[s_1(t)\right] H(\omega) \exp(i\omega\tau), \quad (3)$$

$$S(t) = F^{-1}\left[S(\omega)\right]. \quad (4)$$

где $F\left[s_1(t)\right]$ – прямое преобразование Фурье сигнала $s_1(t)$, измеренного референсным осциллографом, $F^{-1}\left[S(\omega)\right]$ – обратное преобразование Фурье спектра сигнала.

Полученные отклики регистрирующего устройства и поданные на него импульсы приведены на рисунке 4. Оценка искажений приведена для участков разностного сигнала импульса в пределах 20...80% времени нарастания и спада по фронтам импульса, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значение отклонения в %

Форма импульса	Значение отклонения, %	
	перед. фр.	Задний фр.
Трапециевидный	0,0013	0,001
Гауссовский	0,026	0,036
Имп. с экспоненц. фронтами	0,02	0,02

Согласно проведенному выше математическому моделированию отклика системы на заданный один из 3 возможных вариантов импульсов, с минимальными искажениями формы импульса являются импульсы имеющие участки линейного возрастания или плавного нарастания по экспоненте, а в случае гауссовского импульса имеют наибольшее отклонения по фронтам импульса.

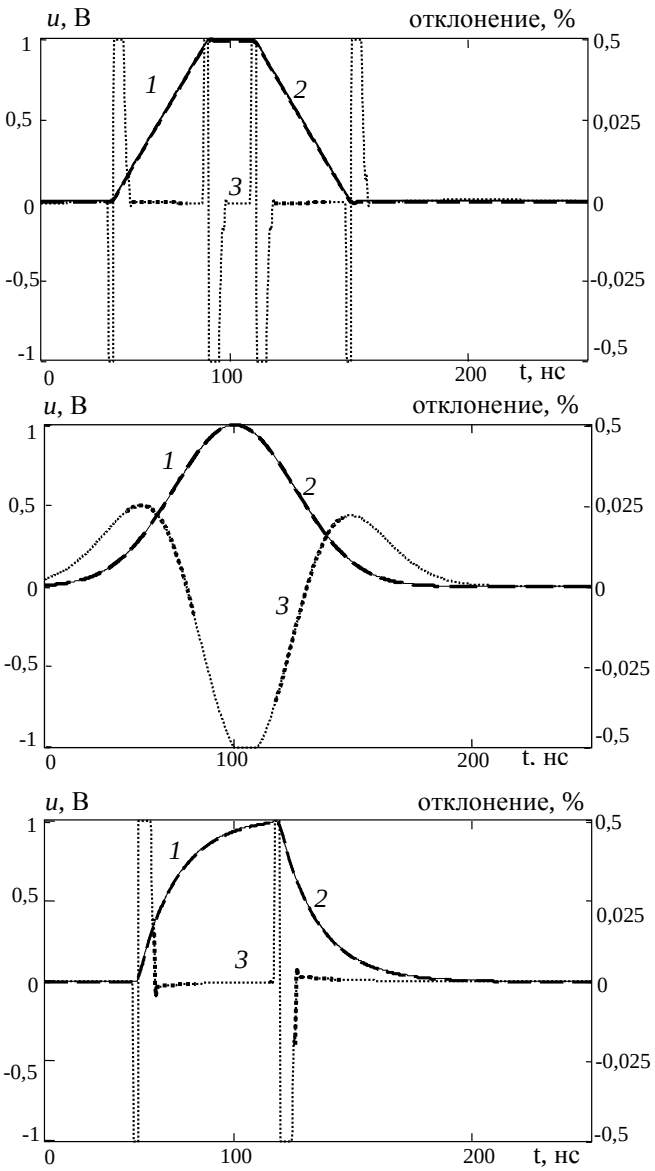


Рис. 4. импульсы с выхода генератора (кривая *1*), измеренные с помощью регистрирующего осциллографа (кривая *2*), разностный сигнал(кривая *3*), (трапециевидный, гауссовский, имп. с экспоненц. фронтами)

Литература

1. Описание программы UWB-CAP (Электронный ресурс) URL (режим доступа): http://edwardsemyonov.narod.ru/nonlinearity/uwb-cap_en.html, свободный (дата обращения 30.05.2013).

2. Абсолютная калибровка сверхкороткоимпульсного измерителя нелинейных характеристик цепей (Электронный ресурс) URL (режим доступа): http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/ /2013-29-3/038.pdf, свободный (дата обращения 20.09.2013).

3. Отузбаева Д.К. Калибровка в сверхширокополосных нелинейных измерениях РЗИ 1203 Промежуточный отчет о выполнении инновационного проекта. ТУСУР, 2012 − 30 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ И ЗАТВОРОВ В ОСНОВНЫХ РЕЖИМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Паргачёв И.А., Краковский В.А., Серебренников Л.Я.
Научный руководитель: Краковский В.А., д.т.н., директор ООО «Кристалл Т», профессор ТУСУР
ООО «Кристалл Т», 634055, г.Томск, пр.Академический, д.8/8
E-mail: underfin@mail.ru,

Электрооптический (ЭО) модулятор добротности резонатора используется как в режиме «открытия полем» (ОП), так и в режиме «закрытия полем» (ЗП) [1,4]. Режим ОП подразумевает повышение добротности резонатора при подаче на модулятор управляющего напряжения, а режим ЗП, соответственно, уменьшение добротности резонатора при поданном напряжении.

В данной работе все экспериментальные данные получены с использованием высокоомного кристалла $KTiOPO_4$ (RKTP) производства компании ООО «Кристалл Т».

Так как в кристаллах семейства KTP наибольшим ЭО коэффициентом является r_{33}, то ЭО элементы изготавливаются таким образом, чтобы свет распространялся вдоль оси X или Y кристалла.

Для света, распространяющегося в кристалле можно записать уравнение Максвелла (СГС):

$$(c/u)^2\vec{E} + \vec{s}\cdot\left(\vec{s}\cdot\vec{D}\right) - \vec{D} = 0 \qquad (1)$$

где $\vec{s}$ – ориентированный вдоль вектора Пойтинга единичный вектор (лучевой вектор), u – лучевая скорость [2].

Решение уравнения (1) показывает, что в кристалле распространяется две волны в направлении $\vec{s}$ с взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации, амплитуды которых равны проекциям напряженности входящей в кристалл волны на образованные плоскости в их экстремумах. Причем одна из плоскостей, образована осью Z кристалла и лучевым вектором $\vec{s}$. Так же, при решении уравнения (1) определяется лучевая скорость каждой из волн (u_f – быстрая, u_s – медленная).

Зависимость разности фаз быстрой и медленной волн от дистанции прохождения света в кристалле можно выразить через лучевую скорость:

$$\Delta\varphi(l) = l\cdot\omega/(u_f - u_s)$$

Помимо дистанции прохождения света разность фаз зависит от приложенного к элементу напряжения вдоль оси Z кристалла и температуры [3]. Температурная зависимость обусловлена коэффициентом термического расширения материала и изменением показателей преломления кристалла. Для исключения изменения разности фаз при температурном воздействии применяется т.н. термокомпенсированная схема [4].

Сам по себе ЭО элемент является интерферометром Фабри-Перо, настроенный на бесконечно широкую полосу. Причем для быстрой и медленной волн оптическая длина интерферометра различна, а при воздействии на элемент электрическим полем или изменением его температуры оптическая длина интерферометра для каждой волны будет изменяться не равнозначно. В результате интерференции света отраженного от передней и задней граней элемента амплитуды быстрой и медленной волн будут изменяться независимо друг от друга под влиянием внешних воздействий на ЭО элемент.

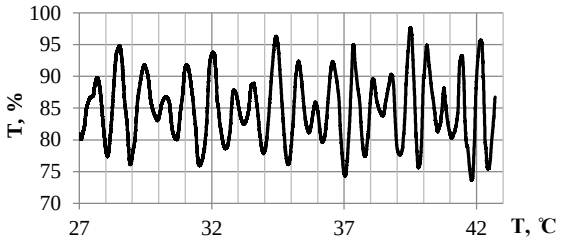


Рис. 1. *Зависимость пропускания света ($\lambda = 632$нм) от температуры.*

На рисунке 1 представлена типичная зависимость коэффициента пропускания света с длиной волны $\lambda = 632$нм ЭО элементом, длиной 10 мм вдоль оси X кристалла (лучевой вектор направлен по X). Поляризация света, входящего в ЭО элемент линейная, и угол между плоскостью поляризации и осью Z кристалла равен 45°.

В общем случае поляризация света лазерного пучка эллиптическая, характеризуемая коэффициентом эллиптичности (коэффициентом сжатия). В свою очередь коэффициент эллиптичности равен отношению длин большей полуоси эллипса, очерчиваемого концом вектора напряженности световой волны, к меньшей. Для круговой поляризации света соответствует коэффициент эллиптичности равный $K_э^{кр} = 1$, а для линейной поляризации $K_э^{лин} = \infty$.

Если ввести коэффициент g, определяющий отношение амплитуд быстрой и медленной волн ($E_{0f} = gE_{0s}$), то напряженность световой волны можно выразить следующим образом:

$$E = E_{0s}\sqrt{\cos^2(\omega t) + g^2\cos^2(\omega t \pm \Delta\varphi)} \qquad (2)$$

Продифференцировав уравнение (2) по $\mathrm{d}\omega t$ найдем те значения $\omega t = \varphi_m$, при которых напряженность световой волны максимальна и минимальна. Значения напряженности в точках φ_m есть полуоси M и N эллипса (M – большая, N – меньшая). Так как $\varphi_m = f(g, \Delta\varphi)$, то коэффициент эллиптичности поляризации света так же будет зависеть от g и $\Delta\varphi$ (рис. 2):

$$K_э(g, \Delta\varphi) = M(g, \Delta\varphi)/N(g, \Delta\varphi)$$

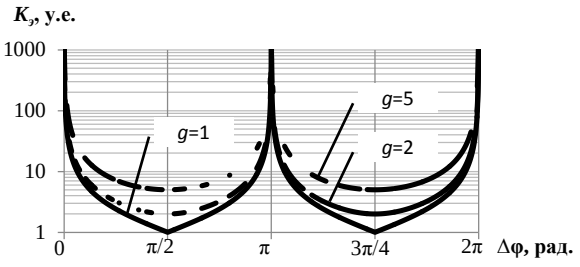


Рис. 2. *Зависимость $K_э$ от $\Delta\varphi$.*

На рисунке показано, что $K_э$ может принимать значения, соответствующее круговой поляризации только при равных амплитудах быстрой и медленной волн. Так же можно найти зависимость угла наклона (α) между полуосью эллипса и одной из плоскостей поляризации быстрой или медленной волны от $\Delta\varphi$ (рис. 3):

$$\alpha(\Delta\varphi) = \left| arctg\left(\frac{E_f(\varphi_m(\Delta\varphi) \pm \Delta\varphi)}{E_s(\varphi_m(\Delta\varphi))}\right)\right|$$

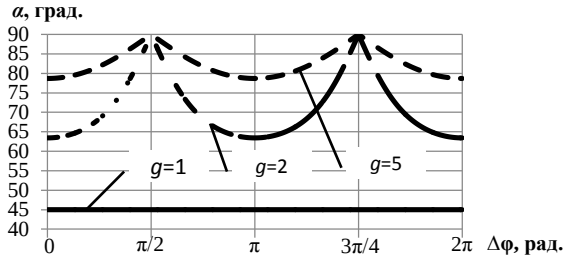


Рис. 3. *Зависимость α от $\Delta\varphi$.*

Рисунок 3 показывает, что оси эллипса не меняют своего наклона только при равных амплитудах быстрой и медленной волн. В остальных же случаях оси эллипса качаются в некотором диапазоне углов.

Введенные в [5] понятия коэффициентов эллиптичности поляризации лазерного пучка, прошедшего через элемент в максимуме ($K_э^{max}$) и минимуме ($K_э^{min}$) характеристики несколько отличаются от выше приведенного понятия коэффициента эллиптичности поляризации света. Отличие состоит в том, что $K_э^{max}$ и $K_э^{min}$ измеряются от некоторого положения поляризатора и анализатора, которые совпадают с наклоном полуосей эллипса только в случае одинаковых амплитуд быстрой и медленной волн.

Если вводить линейно поляризованный свет в элемент, то амплитуды быстрой и медленной волны будут зависеть от потерь на отражения на оптической поверхности и от угла между плоскостью поляризации вводимого в элемент света и плоскостью образованной пересечением оси Z кристалла и лучевого вектора $\vec{s}$. В случае, если на оптические грани элемента нанесены просветляющие покрытия, то вкладом потерь на отражения можно пренебречь.

В силу погрешности изготовления, ЭО элементы в термокомпенсированной схеме могут быть развернуты относительно друг друга не строго на 90°. Будет некорректно говорить об угле между плоскостью поляризации входящего в модулятор света и кристаллографическими осями ЭО элементов. В данном случае нужно рассматривать угол поворота плоскости поляризации вокруг лучевого вектора, при котором $K_э^{max}$ и $K_э^{min}$ будут максимальны (оптимальный угол), а, следовательно, и максимальные коэффициенты контрастности для режимов ОП и ЗП (рис. 4).

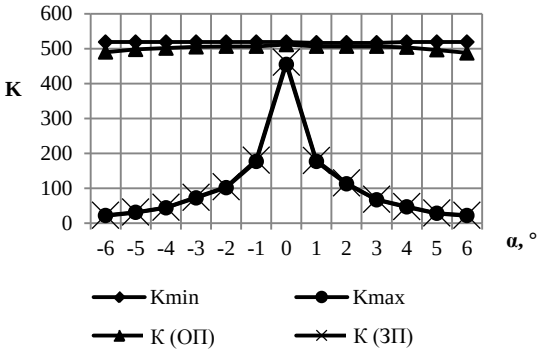


Рис. 4. *Экспериментальная зависимость коэффициентов контрастности (K) и эллиптичности в максимуме и минимуме характеристики (Kmax, Kmin) от величины отстройки угла плоскости поляризации света по отношению к оптимальному углу.*

Отклонение от оптимального угла практически не влияет на $K_э^{min}$, однако $K_э^{max}$, при отклонении на 1˚, уменьшается на 60% (рис. 4). Коэффициент контрастности ЭО модулятора в режиме работы, ОП, по значению близок к $K_э^{min}$ и слабо зависит от отстройки плоскости поляризации вводимого в модулятор оптического пучка от оптимального угла. В режиме работы ЗП коэффициент контрастности по значению близок к коэффициенту эллиптичности в максимуме характеристики, вследствие чего отклонение плоскости поляризации входящего пучка от оптимального угла критично для такого режима работы ЭО модулятора.

Список литературы

1. Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов $KTiOPO_4$ / И.А. Паргачёв и др. // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), ч. 2. – С. 90–93;

2. *Бутиков Е.И.* «Оптика: Учебное пособие». 3-е изд.,– СПб.: Издательство «Лань», 2012 – с.213;

3. *Chuang, Ti; Hays, Alan D; Verdun, Horacio R* / Effect of dispersion on the operation of a KTP electro-optic Q switch // Advanced Solid State Lasers, Applied Optics, Vol. 33 Issue 36, pp.8355-8360 (1994);

4. Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов KTP / И.А. Паргачёв и др. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 116–118;

5. ГОСТ Р 51036-97 / Элементы электрооптические. Методы измерения электрооптических параметров.

ДРЕЙФ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Савин М.А.
Научный руководитель: Галягин К.С., к.т.н., доцент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29
E-mail: abins@pstu.ru

На сегодняшний день волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) находят широкое применение, поэтому их надежная и стабильная работа должна быть гарантирована при любых условиях. К сожалению данное требование не всегда выполняется ввиду несовершенства как конструкции самого прибора, так и технологии его производства.

Одним из наиболее уязвимых мест ВОГ является дрейф показаний покоящегося прибора под действием внешних воздействий на датчик чувствительности в виде регистрации фиктивной угловой скорости.

Причина дрейфа кроется в принципе работы ВОГ – эффекте Саньяка, согласно которому два встречно распространяющихся луча обходят вращающийся оптический контур за разное время, что приводит к возникновению разности фаз, по величине которой определяется угловая скорость. В состоянии покоя лучи должны обходить контур за равный промежуток времени, и скорость, регистрируемая прибором будет равна нулю.

Вследствие внешних возмущений меняется тепловое и напряженное состояние светопроводящей жилы, в результате чего изменяется показатель преломления световода оптоволоконного контура ВОГ. Изменения показателя преломления существенным образом сказываются на скорости распространения света (лазерного луча) в оптическом волокне, тем самым, согласно принципу работы ВОГ, возникает дрейф. В электронном блоке ВОГ происходит обработка интерференционной картины результата объединения лучей, а затем расчет угловой скорости.

Моделирование работы подобного устройства, а также отклика его на внешние возмущения – довольно сложная и трудоемкая задача. На величину дрейфа помимо нестационарных полей влияет и сила натяжения волокна при намотке блока чувствительности, и поворот волокна – силовые стержни волокна Panda могут иметь два предельных положения относительно каркаса катушки ВОГ.

Несмотря на это, нам удалось провести численное моделирование работы ВОГ в малом временном диапазоне и получить приемлемые результаты. Расчетная модель представляет собой реальную конструкцию ВОГ с наиболее чувствительным элементом – массивом оптоволокна. Задача решена в осесимметричной постановке, граничные и начальные условия соответствуют натурному эксперименту (испытание изделия в термокамере). Материалы конструкции ВОГ и оптического волокна предоставлены заводом изготовителем.

Основной проблемой при моделировании оказалось построение конечно-объемной сетки. Необходимо было одинаково, а главное равномерно разбить каждый из нескольких тысяч витков намотки. Для этого были организованы автоматические процедуры построения сеток с помощью макросов и заранее подготовленных элементов периодичности (генерировались также макросами) (рис.1).

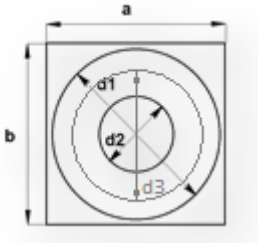


Рис. 1. Элемент периодичности:
d1, d3 – диаметры защитно-упрочняющего покрытия, d2 – диаметр кварцевого волокна

Результатом работы сеточного генератора стала сетка размерностью порядка 5 млн ячеек (рис.2).

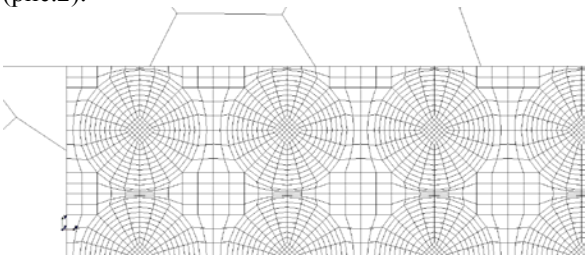


Рис. 2. Фрагмент сетки блока чувствительности

Элементы корпуса и воздух, заполняющий пространство между ними разбивался на ячейки отдельно от массива оптоволокна.

Для запуска, проведения решения и автоматической отгрузки файлов результатов в процессе решения, а также для контроля количества временных шагов был создан еще один специальный макрос.

Таким образом задача представляет собой решение двух несвязанных задач:

1) Решение задачи о термоупругости конструкции ВОГ.

2) Решение задачи пьезооптики по расчетным данным первой задачи.

Вторая задача вынесена в отдельный постпроцессор. В нем файлы, полученные при расчете в пакете, обрабатываются с целью получения угловой скорости.

Для этого необходимо представить волокно в виде единого отрезка длиной несколько сотен метров, т.е. отсортировать полученные массивы в определенной последовательности, а затем рассчитать сам дрейф в соответствии со следующей процедурой.

Для определения набега нам необходимо разрешить дифференциальное уравнение [1]:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{c}{n(x,\tau)}$$

где c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления.

Показатель преломления зависит от температуры и напряжений, эта зависимость описывается формулой [1,2]:

$$n_i = n_{oi}\sqrt{1 + \frac{c_1\sigma_1 + c_2(\sigma_2 + \sigma_3)}{n_{oi}^2}}$$

где c_1, c_2 – фотоупругие постоянные кварцевого стекла, n_{oi} – начальный показатель преломления кварцевого стекла, его изменение от температуры линейно с перегибом в точке стеклования. Напряжения используются главные, их валидация в пакете проведена на тестовых задачах, имеющих аналитическое решение [3].

Зная все зависимости и решение уравнения, можно перейти к вычислению набега и непосредственно дрейфа по формулам Саньяка:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi c}{\lambda}(\tau_1 - \tau_2)$$

$$\Omega = \frac{c}{4kNS_c}\Delta\phi$$

где $\Delta\phi$ – фазовый набег, λ – длина волны излучения, τ_1 – время пробега контура первым лучом, τ_2 – время пробега контура вторым лучом, Ω – угловая скорость по Саньяку (рад/с), k – волновое число, NS_c – суммарная площадь всех витков ВОГ.

При определении дрейфа в постпроцессоре к главным напряжениям были добавлены остаточные напряжения после вытяжки оптоволокна и напряжения от намотки.

В натурном эксперименте производился нагрев изделия с темпом 4 градуса в час от 22°С до 60°С. Численно был рассчитан лишь начальный этап с пиком дрейфа, так как он наиболее показателен (рис.3).

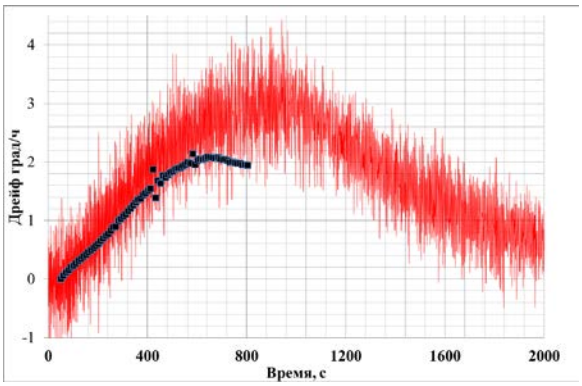


Рис. 3. Экспериментальный (красный) и расчетный (черный) дрейф.

На графике видно, что величина амплитуды дрейфа, полученная в численном эксперименте слегка отстает от величины амплитуды дрейфа, полученного при натурном эксперименте. Данное отклонение – результат погрешностей проведения натурного эксперимента, а также различные упрощения, допускаемые при численном расчете.

Полученную погрешность можно считать приемлемой и говорить о том, что разработанная модель пригодна для тестирования различных вариантов конструкции ВОГ на чувствительность к условиям воздействия со стороны окружающей среды.

Полученные результаты дрейфа можно уточнить, используя более точную информацию по теплофизическим и механическим свойствам материалов, а также можно отойти от осесимметричного рассмотрения проблемы и использовать полноценную трехмерную постановку.

Литература.

1. Тепловой дрейф волоконного оптического гироскопа / Вахрамеев Е.И. [и др.] // Изв. ВУЗов. Приборостроение. – 2011. - Т.54. - №1. –С. 32-37.

2. Шереметьев А.Г. Волоконный оптический гироскоп. – М.: Радио и связь, 1987.

3. Князева А.Г. Элементы теории упругости, термоупругости и массоупругости и их приложение к описанию процессов термообработки // пособие для подготовки курсовых проектов по курсу лекций «Теплофизические основы современных методов металлообработки» – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012г.

ВЛИЯНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS

Кругликова Л. Л., Савинова Д. М.
Научный руководитель: Яковлев А. Н., к.ф-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: DinaSavinova@gmail.com

Зеленые микроводоросли рода Chlorella недавно привлекли внимание мирового научного сообщества как многообещающие организмы.

Очень распространенной из хлорелл является Chlorella vulgaris. Она постоянно встречается массами в воде и в грязи луж, канав и прудов.

Огромный исследовательский интерес ученых всего мира к этой водоросли определяется, прежде всего, богатейшим составом всего спектра биологически активных веществ, высокой их концентрацией и сравнительно простой технологией получения больших количеств ее биомассы.

По своей питательности водоросль не уступает мясу и значительно превосходит пшеницу. Если в пшенице содержится 12 % белка, то в хлорелле его более 50 %. При аминокислотном анализе клеточного содержимого обнаружено 40 аминокислот, в том числе все незаменимые. В макро- и микроэлементный состав суспензии хлореллы входят кальций, фосфор, магний, калий, медь, железо, сера, цинк, кобальт, марганец, цирконий, рубидий, йод и др. микроэлементы [1].

Применение хлореллы в различных областях деятельности человека очень широкое:

- в сельском хозяйстве для подкормки растений, птиц и животных, в пчеловодстве и рыбном хозяйстве;
- в пищевой промышленности;
- в медицине, косметологии и парфюмерии;
- для очистки сточных вод и реабилитации водоёмов;
- для производства кислорода;
- для производства биотоплива.

Клетки делятся каждые двенадцать часов. Это и позволяет собирать фантастические урожаи. За год с каждого гектара водной поверхности бассейнов можно снять до 600 центнеров сухой биомассы [2].

Для производства биомассы хлореллы требуется соблюдать несколько условий. Это в первую очередь определенная питательная среда, наличие углекислого газа, температура и свет.

Питательная среда представляет собой смесь минералов и органики, насыщенную углекислым газом. Рост биомассы микроводоросли происходит только при определенной температуре, а именно 30-36°С.

Световое воздействие заключается в облучении либо солнечным светом, либо искусственными источниками света в зависимости климата.

Выращивают микроводоросли Chlorella в открытых (бассейнах) и в закрытых культиваторах.

Технология бассейнового производства не требует высоких капиталовложений и адаптирована к расширению производственных мощностей. В оптимальных случаях может давать довольно большие выходы биомассы [3].

Закрытые фотореакторы - это системы прозрачных емкостей (труб, аквариумов), внутри которых циркулирует питательная среда с микроводорослями.

В качестве облучателя в закрытых фотореакторах используются в основном лампы накаливания в том числе кварцевые галогенные с отражателями, зеркальные лампы, и люминесцентные лампы. Используют также дуговые ртутные люминесцентные, ксеноновые, натриевые лампы. По сравнению с естественными источниками света искусственные источники могут создавать большую облученность, нежели солнечный свет [4].

Культивирование микроорганизмов в закрытых биореакторах связано с большими энергетическими затратами на освещение.

Одним из возможных решений снижения затрат на электроэнергию и получения спектра излучения с необходимыми характеристиками для культуры является применение светодиодной осветительной установки.

Выбрав наиболее оптимальные параметры для роста и развития микроводорослей, можно создать благоприятные условия для быстрого их роста и снизить время, затрачиваемое на их выращивание.

Цель экспериментальных исследований – выявить влияние фотометрических характеристик источника излучения на эффективность выращивания.

Облучение производилось разными типами источников света: лампой накаливания (ЛН), светодиодной (СД) и люминесцентной (КЛЛ) лампами.

В ходе проведения исследований были получены данные увеличения оптической плотности D суспензии хлореллы.

В первом случае использовались лампы одинаковой цветовой температуры 4200 К. Результаты прироста получились практически идентичными. Таким образом, было установлено, что при данной цветовой температуре степень влияния характера спектра излучения на рост культуры незначительна.

Наименование	D_0	D	D- D_0
ЛН	0,009	0,203	0,194
КЛЛ, Т=4200К	0,010	0,122	0,112

СД, Т=6500К	0,010	0,084	0,074
СД, Т=4200К	0,003	0,115	0,112

Таб. 1. Результаты измерений при облучении разными лампами.

Во втором случае для облучения биомассы использовались светодиодные лампы с цветовой температурой 4200 и 6500 К. Характер спектров излучения ламп схож и условия, при которых происходило культивирование суспензии хлорелла, идентичны.

Результаты эксперимента значительно отличаются друг от друга, что позволяет предположить, что на процесс роста используемой в эксперименте микроводоросли влияет цвет свечения ламп.

Как и все растения, хлорелла поглощает не все длины волн света.

Для получения кривой светопоглощения хлореллы был измерен спектр оптической плотности. Оптическую плотность измеряли в диапазоне длин волн от 300 до 800 нм, при толщине слоя 1 см.

Пользуясь полученными значениями D, рассчитали коэффициенты поглощения хлореллы.

Спектр поглощения имеет непрерывный характер, но обнаруживается два максимума на той длине волны света, где имеется максимальное поглощение квантов света, в красной области (от 660 до 680 нм) и второй максимум расположен в синем спектральном диапазоне от 420 до 450 нм. Таким образом, именно в этих областях, эффективность фотосинтеза наибольшая. Значительный провал наблюдается в интервале длин волн от 500 до 580 нм. Таким образом, свет в зеленой области имеет наименьшее поглощение (см. рис. 1).

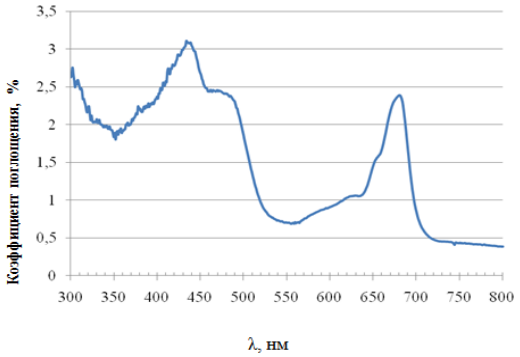


Рис. 1. Спектр поглощения суспензии хлореллы в диапазоне длин волн от 300 до 800 нм.

Следующие эксперименты были нацелены на выявление конкретных длин волн, при которых будет наблюдаться максимальный прирост биомассы. В ходе проведения эксперимента, культуру облучали светодиодными источниками света с красным (от 620 до 630 нм), синим (от 450 до 465 нм) и зеленым (от 520 до 535 нм) светом.

Результат получили следующий: наибольшее значение D наблюдается под действием облучения суспензии хлореллы красным и синим светом, т.е при длине волны от 450 до 465 нм и от 620-630 нм. При облучении зеленым светом прироста биомассы не наблюдалось (см. таб.2).

На основании полученных результатов был проведен эксперимент, в котором, культуру облучали светом, полученным путем комбинирования красных и синих светодиодов. Диапазон излучения красного светодиодного облучателя от 620 до 630 нм, синего – от 450 до 465 нм.

Как видно из спектра поглощения хлореллы коэффициент поглощения культуры при этих длинах волн составляет 35 % и 15 % соответственно. Таким образом, было взято отношение энергии по спектру красного и синего света, в пропорции 1:2,3.

Интенсивность фотосинтеза при освещении комбинированным светом КС (красный и синий) оказалась выше интенсивностей фотосинтеза, наблюдаемой при облучении каждой длиной волны в отдельности (см. таб.3).

Наименование	D_0	D	D- D_0	T, ˚C	E, клк
СД, синий (450 - 465 нм)	0,025	0,656	0,621	34,8	5,3
СД, красный (620 - 630 нм)	0,026	0,482	0.456	33,4	5,9
СД, зеленый (520 - 535 нм)	0,026	0,054	0.028	34	6,5

Таб. 2. Результаты экспериментов по влиянию светодиодных излучателей.

Наименование	D_0	D	D- D_0	T, ˚C	E, клк
СД, КС	0,020	0,710	0,690	34	5,1

Таб. 3. Результаты экспериментов по влиянию комбинированного спектра.

Более того, результат прироста биомассы при облучении водоросли комбинацией красных и синих светодиодов на порядки выше, чем при облучении стандартно использующимися источниками света.

Список литературы:

1. Хлорелла - жизнь ради жизни. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.proflink.ru/007-produkt/chlorella.html

2. Хлорелла. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://armoniainterna.ru/?portfolio=project-3_4

3. Производство биомассы микроводорослей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://abalgae.com/ru/products/xlorella/production

4. Щеголькова Н.М., Шашкина П.С. Фотобиореактор для доочистки сточной воды от биогенных элементов и обеззараживания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mosvodokanal.ru/index.php?newsid=5786

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОГО РАДИОУДЛИНИТЕЛЯ СЕТИ DMX512

Сергеичев К.С., Малмыго А. В.
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, Омск, Пр. Мира, д.11
E-mail: sergeichevks@gmail.com

В современном мире огромное влияние оказало развитие беспроводных технологий. Они настолько сильно проникли во все сферы нашей деятельности, что представить их отсутствие уже невозможно. Соответственно проводная технология теряет свои позиции, а самым простым методом перехода к беспроводной технологии является создание особого класса беспроводных устройств – радиоудлинителей.

Радиоудлинитель -устройство, обеспечивающее возможность подключения двух узлов сети методом радиосвязи. Данный вид устройств позволяет отказаться от проводной технологии в тех случаях, когда это представляется целесообразным.

Отрицательной чертой, является то, что все устройства этого типа обладают временными задержками информационного потока, по сравнению с проводной технологией.

Объясняется это явление алгоритмом работы, который заключается в следующем. Устройство включается в разрыв проводной линии. Когда по проводной линии передаются цифровые данные, они сперва попадают в буфер передающего радиоузла. После заполнения входного слота начинается передача данных по воздуху в буфер приемного устройства. И только по окончании передачи данные кодируются в соответствии с входным протоколом, и отправляются конечному устройству.

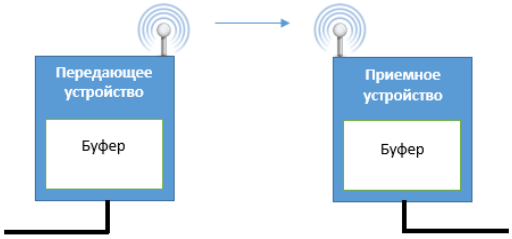


Рис.1 – Графическая схема системы радиоудлинителей.

Таким образом перед разработчиками данного типа устройств стоит глобальная задача – довести алгоритм работы до совершенства, обеспечив минимальные временные задержки.

В своей работе мы столкнулись с радиоудлинителями сети цифрового протокола DMX512. Данная сеть в основном используется в бытовом применении для системы типа «Умный Дом». А также находит свое назначение и среди профессиональной сценической аппаратуры для управления световым оборудованием.

Производством подобных устройств занимаются несколько мировых фирм. Одним из лидеров является шведская компания WIRELESS SOLUTION, которая выпускает сверх надежные радиоудлинители. Их преимущество заключается в первую очередь в самом радиоузле устройства, который позволяет с высокой скоростью менять несущую частоту. Это позволяет устройству не замедлять передачу информационного потока при обнаружении коллизий радиопередачи. Кроме этого, устройства данного производителя обеспечивают малые временные задержки, которые составляют не более 5 мс.

Рис. 2 – Устройство WIRELESS SOLUTION

Основным камнем преткновения для повсеместного использования устройств шведской компании – их стоимость. Порой цена на устройства может достигать нескольких десятков тысяч рублей.

По этой причине многие потенциальные покупатели вынуждены использовать устройства китайского производителя. Один из таких радиодлинителей попал в наши руки для анализа и последующей модернизации.

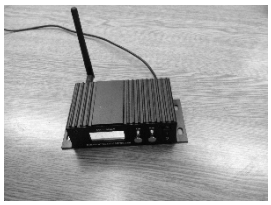


Рис. 3

Рис.4

Устройство, попавшее в наши руки, представляет собой цифровой приемопередатчик, радиоузел которого работает на не лицензируемом диапазоне частот 2,400…2,525 ГГц (ISM-Industrial, Scientific, Medical). Устройство выпускается в двух форм-факторах: как миниатюрный приемник (рис. 4), и как полноценный приемопередатчик (рис.3).

Для анализа корректной работы данного устройства был собран тестер. Тестер позволяет измерить величину временной задержки,

обнаружить пропуски пакетов или обрезку информационного потока. Результат работы тестера выводится на светодиодную индикацию.

Рис. 5 – Тестер для приемопередатчиков

Анализ корректной работы радиоудлинителей китайского происхождения выявил, что устройства допускают пропуск каждого 2-го пакета информационного потока, при этом временная задержка составляет порядка 30…80 мс, что является отклонением от нормы.

По результатам анализа было решено усовершенствовать характеристики данных устройств, за счет разработки собственной программной прошивки центрального процессора устройства.

Прошивка была реализована на языке ассемблер, который является низкоуровневым. Это позволило достигнуть максимальной скорости и оптимизированной работы микропроцессорного блока. Соответственно, уменьшились и временные задержки, которые теперь составляют менее 3 мс. Также на базе прошивки был разработан алгоритм высокоскоростной смены несущей частоты в случае обнаружения коллизий в радиоканале.

Характеристики, полученные в результате модернизации указаны в таблице.

Временная задержка, мс	<3
Система контроля ошибок	Встроена, программная
Система поиска и потери частотного канала	Встроена
Энергопотребление, мА	63
Скорость перестройки частоты, раз/с	44
Метод синхронизации	По брейку, обрезка

На данный момент изготовлено 4 прототипа радиоудлинителя для тестирования в реальных условиях их использования, а первые запуски в тестере показали неплохие результаты. Но выявлены некоторые ошибки в алгоритме, которые на данный момент устраняются и отлаживаются.

Рис. 6 – Готовый прототип устройства с внутренней антенной

Положительными результатами этой модернизации является то, что устройство приблизилось по функционалу и надежности к устройствам высокой ценовой категории, оставаясь при этом с той же привлекательной ценой. Таким образом, оно стало еще более конкурентно-способным и интересным для покупателя.

В ближайшем будущем планируется дальнейшая доработка проекта и вывод продукта на рынок. Для этого в первую очередь будет проведена разработка печатной платы и конструкции корпуса устройства, также модернизированные по сравнению с аналогом.

Список литературы

1. Wireless Solution.BlackBox Series–URL: http://www.wirelessdmx.com/products/itemlist/category/47-blackbox-series

2. Прайс-лист. WI-DMX –URL: http://www.wi-dmx.ru/pdf/price/price-WI-DMX.pdf

3. Сим. DMX без проводов! – URL: http://www.sim.ru/rus/catalogue/light_equipment/document1364.shtml

ВЛИЯНИЕ ШУМА КВАНТОВАНИЯ АЦП НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ

Серов А.Н.
Научный руководитель: Шатохин А.А., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,
111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14
E-mail: serov.an.iit@yandex.com

Действующие нормативные документы [1] на средства измерения (СИ) показателей качества электроэнергии (ПКЭ) предписывают последним выполнять измерение ряда параметров электрической мощности, среди которых: активная мощность основной гармоники; активная мощность гармоник; и активная мощность в заданной полосе частот. Современные цифровые СИ ПКЭ построены на основе структурной схемы, содержащей в своем составе аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Их число зависит от числа измерительных каналов СИ. Выходной сигнал любого АЦП представляет собой цифровой код. Поскольку входной сигнал в общем случае непрерывен, то любой АЦП принципиально обладает погрешностью дискретности. Зависимость данной погрешности во времени имеет случайный характер (несмотря на то, что носит название шум квантования) и определяется уровнем входного сигнала и видом функции преобразования рассматриваемого АЦП. Мгновенные значения шума квантования нелинейно зависят от уровня входного сигнала. По этой причине погрешность измерения мгновенных значений сигнала, вызванная шумом квантования, не может быть устранена установкой нуля или калибровкой измерительных цепей. Таким образом, представляется актуальной задача разработки эффективного метода оценки погрешности измерения параметров активной мощности, вызванной погрешностью квантования применяемых АЦП.

Обобщенная зависимость для расчета погрешности измерения перечисленных ранее параметров активной мощности может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta P_{k1,k2} = \sum_{k=k1}^{k2} \left(U_k \Delta I_k + I_k \Delta U_k\right) \cos\left(\varphi_k\right), \quad (1)$$

где U_k, I_k – действующие значения k–ой гармоники напряжения и тока соответственно; φ_k – фазовый сдвиг между k–ми гармониками напряжения и тока; $k1$, $k2$ – соответственно начальный и конечный номера гармоник из рассматриваемого частотного диапазона; ΔU_k, ΔI_k – отклонение ДЗ k-ой гармоники выходного напряжения и тока соответственно. Таким образом, для расчета погрешности измерения параметров мощности необходимо определить отклонения гармоник тока и напряжения (вызванных наличием шума квантования) в требуемом частотном диапазоне.

Действующие значения гармоник тока и напряжения, а также фазовые сдвиги между данными гармониками одной частоты, для СИ ПКЭ, как правило, определяются путем выполнения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) тока и напряжения. Спектр выходного сигнала АЦП с учетом шума квантования определяется как:

$$\dot{Y}[n] = \dot{X}[n] + \Delta\dot{X}[n] = \frac{2}{N}\left(\sum_{k=0}^{N-1} x[k] e^{-j\frac{2\pi mk}{N}} + \sum_{k=0}^{N-1} \Delta_{QN}[k] e^{-j\frac{2\pi mk}{N}}\right), \quad (2)$$

где $x[k]$ – временные отчеты входного сигнала АЦП (напряжения или тока); N – число отчетов сигнала за время наблюдения; $\dot{X}[n]$, $\dot{Y}[n]$ – дискретные отчеты спектра входного и выходного сигналов АЦП соответственно; $\Delta_{QN}[k]$ – мгновенное значение шума квантования. Зная зависимость шума квантования во времени, и пользуясь зависимостью (2), можно определить отклонение гармоник спектров выходного и входного сигналов АЦП

Известно, что для мгновенного значения шума квантования АЦП справедливо:

$$-0.5q \le \Delta_{QN}[k] \le 0.5q. \quad (3)$$

где q – значение единицы младшего разряда (е.м.р., квант) рассматриваемого АЦП. Из выражений (2) и (3) видно, что отклонения гармоник спектра выходного сигнала АЦП принимают максимальные значения при следующей форме шуме квантования:

$$\Delta_{QN}[k] = \begin{cases} 0.5q \ при \ x[k] > 0, \\ -0.5q \ при \ x[k] < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Выполняя подстановку (4) в (2) получаем:

$$\left|\dot{Y}[n]\right|^2 \cong \left|\dot{X}^2[n]\right| + \frac{4\left|\dot{X}[n]\right| q \sin^2\left(0.5n\pi\right)}{N \sin\left(n\pi / N\right)} \times \left(\sin\left(\frac{\pi m(N-1)}{N}\right)\right) + \left(\frac{2\left|\dot{X}[n]\right| q \sin^2\left(0.5n\pi\right)}{N \sin\left(n\pi / N\right)} \left(2 + \cos\left(\pi m\right)\right)\right)^2. \quad (5)$$

Пользуясь выражением (5), могут быть рассчитаны отклонения спектральных

составляющих напряжения, тока и соответствующая погрешность измерения активной мощности (см. выражение (1)).

Производители АЦП в технических описаниях микросхем нормируют ряд динамических параметров (SNR, ENOB, SNDR, THDN), связанных с явлением шума квантования [2]. Однако помимо шума квантования существуют и другие причины, приводящие к отклонению спектра выходного сигнала (например, нелинейность функции преобразования АЦП). По этой причине использование перечисленных динамических параметров для определения погрешности вызванной шумом квантования затруднено.

Из литературных источников [3] известно, что коэффициенты ряда Фурье выходного сигнала АЦП в случае входного синусоидального сигнала, могут быть рассчитаны путем применения следующего аналитического выражения:

$$\left|\dot{Y}[n]\right| \cong \begin{cases} \dfrac{2q}{n\pi}\sum\limits_{l=1}^{N_p}\cos\left(n\arcsin\left(\dfrac{(l-0.5)q}{X_m}\right)\right), \\ 0, \textit{ при } n-\textit{четное.} \end{cases} \quad (6)$$

где N_p – максимальное значение выходного кода АЦП при заданном входном сигнале; X_m, α – амплитудное значение и начальная фаза входного сигнала. С помощью зависимости (6), для АЦП заданной разрядности, можно выполнить расчет отклонении амплитудных значений спектров тока и напряжения. Заметим, что выражение (6) получено для случая непрерывного во времени входного сигнала. Отсутствие учёта реальной частоты дискретизации определяет основной недостаток данного метода. Для устранения данного недостатка можно воспользоваться соотношением, связывающим спектры дискретного и непрерывного сигналов [4]:

$$\dot{Y}_\partial[n] = \sum_{M=-\infty}^{\infty}\dot{Y}[n-NM] \cong \sum_{M=-M_1}^{M_1}\dot{Y}[n-NM], \quad (7)$$

где M_1 – целое; $\dot{Y}_\partial[n], \dot{Y}[n]$ – соответственно, дискретный и непрерывный спектры выходного сигнала АЦП.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ рассмотренных методов оценки погрешности измерения активной мощности основной гармоники от шума квантования АЦП. Рассмотрены оценки погрешности измерения активной мощности основной гармоники, вызванные шумами квантования 14-ти разрядных АЦП измерительных цепей тока и напряжения. Значения столбца «ИМ» получены путем имитационного моделирования, выполненного в программном пакете Matlab. Параметры моделирования: входные сигналы – синусоидальные; время измерения – 0.02с; относительное значение напряжения и тока – 1; частота сигнала – 50Гц, начальная фаза напряжения и фазовый сдвиг между током и напряжением – 0 град. В таблице относительная погрешность измерения активной мощности основной гармоники обозначена δP_1; частота дискретизации – f_∂.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов оценки погрешности измерения активной мощности основной гармоники

f_∂, кГц	δP_1, %			
	ИМ	(1), (5)	(1), (6)	(1),(6),(7), M = 100
1	$5{,}8\ 10^{-3}$	0,031	$1{,}0\ 10^{-4}$	$2{,}1\ 10^{-3}$
10	$1{,}5\ 10^{-3}$	0,031	$1{,}0\ 10^{-4}$	$9{,}3\ 10^{-4}$
100	$9{,}1\ 10^{-5}$	0,031	$1{,}0\ 10^{-4}$	$5{,}4\ 10^{-5}$
1000	$7{,}8\ 10^{-5}$	0,031	$1{,}0\ 10^{-4}$	$9{,}0\ 10^{-5}$

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. При измерении параметров активной мощности наличие шума квантования АЦП измерительных цепей тока и напряжения приводит к возникновению погрешности.

2. Расчет погрешности измерения активной мощности, вызванной конечной разрядностью АЦП тока и напряжения может быть выполнен согласно зависимостям либо (1), (5) либо (1), (6) либо (1), (6), (7).

3. Сравнение результатов оценок расчета погрешности для зависимостей (5), (6) и (7) показывает, что применение зависимости (7) позволяет существенно приблизить оценку погрешности к её истинному значению.

Литература

1. ГОСТ Р 8.655-2009 Средства измерения показателей качества электрической энергии. Общие технические требования. – М.: «Стандартинформ», 2009.

2. Kester W. MT-003. Understand SINAD, ENOB, SNR, THD, THD + N, and SFDR so You Don't Get Lost in the Noise Floor. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-003.pdf

3. Bellan D., Brandolini A., Gadelli A. Quantization theory – a deterministic approach// IEEE transactions on instrumentation and measurement – 1999. Vol. 48, N.1. – P. 18-25.

4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: «Питер», 2007.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРИХОДНО-РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ

Солнцева А.В., Борминский С.А., Курылёва П.А.
Научный руководитель: Скворцов Б.В., д.т.н., профессор
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет), 443086, Россия, г.Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: als063@mail.ru

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р) стратегической целью инновационной и научно-технической составляющей государственной энергетической политики является создание устойчивой национальной инновационной системы в сфере энергетики для обеспечения российского топливно-энергетического комплекса высокоэффективными отечественными технологиями и оборудованием, научно-техническими и инновационными решениями в объемах, необходимых для поддержания энергетической безопасности страны.

Одной из задач, решаемых в рамках реализации программы, является разработка и внедрение на предприятиях соответствующего профиля высокотехнологичных систем управления процессами слива и налива товарных продуктов в емкости резервуарных парков. Подобные системы активно используются на топливных базах, а именно, топливных складах, нефтебазах, нефтехранилищах, автозаправочных базах, осуществляющих хранение нефтепродуктов в вертикальных и/или горизонтальных резервуарах, а также хранилищах жидких продуктов на предприятиях пищевой и медицинской промышленности.

Структурная схема системы управления и контроля приходно-расходными характеристиками резервуарных парков представлена на рисунке 1. Авторами подана заявка на получение патента на полезную модель на разработанную конструкцию устройства.

Система включает в себя размещенные в полости волновода 1 измерительные датчики 2, которые расположены в теле контролируемого резервуара, датчик уровня 3, размещенный на крыше резервуара, а также управляемые вентили 4, 5, 6, расходомеры 7, 8, 9, блоки управления насосными агрегатами 10, 11, 12, насосные агрегаты 13, 14, 15, которые соединены последовательно системой трубопровода и образуют канал налива продукта из транспортировочной емкости 16, канал слива продукта в транспортировочную емкость 17 и канал дренирования подтоварной воды в канализацию 18. Выходы устройства управления 20 соединены с управляемыми вентилями 4, 5, 6, блоками управления насосными агрегатами 10, 11, 12, устройством сбора и обработки данных 19, входы которого подключены к выходам датчиков 2, 3, расходомерам 7, 8, 9 и устройству управления 20.

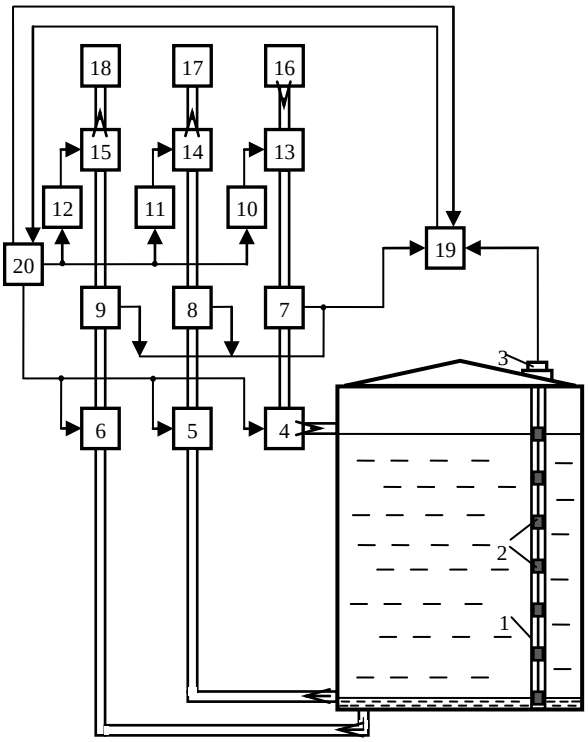


Рис. 1. Структурная схема системы управления и контроля приходно-расходными характеристиками резервуарных парков

По сигналу устройства управления 20 блок управления насосным агрегатом 10 запускает работу насосного агрегата 13, начинается перекачка товарного продукта из транспортировочной емкости 16 в резервуар, открывается управляемый вентиль 4, объем перекаченного продукта по трубопроводу рассчитывается устройством обработки данных 19 по данным расходомера 7. Товарный продукт заполняет резервуар в диапазоне уровней H_{min} - H_{max}, который регламентируются конструкционными особенностями резервуара и спецификой операций слива-налива. Контроль уровня наливаемого продукта осуществляется посредством применения датчика уровня 3. Данные о качественных показателях поступающего товарного продукта получают с датчиков 2, размещенных в волноводе 1 в диапазоне H_{min} - H_{max}. Слой образовавшейся подтоварной воды на дне резервуара сливается по

каналу дренирования по сигналу устройства управления 20 путем открывания вентиля 6 и откачки воды в канализацию 18 насосным агрегатом 12, производительность которого регулирует блок управления 12. Количество откаченной подтоварной воды определяется по данным расходомера 9 и учитывается при расчете количества оставшегося товарного продукта в контролируемой емкости. При приближении уровня заполнения резервуара, который фиксируется по данным расходомера 7 и датчика уровня 3, к требуемому значению, устройство управления 20 подает сигнал блоку управления насосным агрегатом 10 сигнал плавно понижать производительность насосного агрегата 13, а затем перекрыть вентиль 4. За счет плавного управления производительностью насосного агрегата 13 и использования независимых друг от друга расходомеров 7, 8, 9 и датчиков 2, 3 решается задача компенсации инерционности работы вентиля 4 и учета остатков товарного продукта в трубопроводе. Плавное управления производительностью насосных агрегатов за счет использования блоков управления 10, 11, 12 позволяет точно контролировать количества отпущенного товарного продукта, что обеспечивает большую точность проведения процедуры налива топлива, а также устранить человеческий фактор, присутствующий при переключении режимов работы насосных агрегатов вручную.

Система также работает при операции слива товарного продукта и позволяет повысить точность дозировки за счет плавной регулировки производительности насосных агрегатов при отпуске потребителю в транспортировочные емкости.

Измерение массы остаточного продукта в резервуаре осуществляется по способу согласно [1]. Суть способа заключается в том, что с помощью датчиковой аппаратуры измеряются параметры, характеризующие физико-химические характеристики хранимой жидкости, величины которых передаются в устройство обработки информации. В процессе калибровки в резервуар поэтапно наливают количество жидкости известной массы, измеряют соответствующую ей совокупность контролируемых параметров, значения которых запоминаются в устройстве обработки, а в процессе измерения искомую массу определяют по формуле:

$$M_X = b_1 q_{1,X} + \ldots + b_k q_{k,X} + \ldots + b_n q_{n,X} = \sum_{k=1}^{n} b_k q_{k,X} ,$$

где M_X – искомое значение массы контролируемой жидкости,

$q_{k,X}$ - совокупность измеренных параметров контролируемой жидкости.

При этом коэффициенты b_k определяются по формуле:

$$b_k = \frac{\Delta b_k}{\Delta},$$

где $\Delta = \begin{vmatrix} q_{1,1} & \ldots & q_{i,1} & \ldots & q_{n,1} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ q_{1,k} & \ldots & q_{i,k} & \ldots & q_{n,k} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ q_{1,n} & \ldots & q_{i,n} & \ldots & q_{n,n} \end{vmatrix}$,

$$\Delta b_k = \begin{vmatrix} q_{1,1} & \ldots & M_1 & \ldots & q_{n,1} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ q_{1,k} & \ldots & M_k & \ldots & q_{n,k} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ q_{1,n} & \ldots & M_n & \ldots & q_{n,n} \end{vmatrix},$$

M_k – совокупность эталонных значений массы контролируемой жидкости, используемой при калибровке,

$q_{i,k}$ – совокупность физико-химических параметров жидкости, измеренных при калибровке,

i - соответствует номеру измеряемого параметра (i=1…n),

k - номеру калибровочного замера (k=1…n).

Измерение качественных показателей товарных продуктов, находящихся в резервуаре, может проводиться согласно методике, описанной в [2].

Рассмотренная система управления и контроля приходно-расходными характеристиками резервуарных парков позволяет точно определять уровни предельного заполнения резервуара, обеспечить контроль утечек и несанкционированного доступа к товарному продукту при его хранении и отпуске потребителю, учитывать инерционность работы управляемых элементов системы в процессе при их переключении, а также фактов остатка продукта в системе трубопровода.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

1. Патент 2497085 Российская Федерация, МКП G01F1/76. Способ измерения массы жидкости в резервуаре / Скворцов Б.В., Борминский С.А., Солнцева А.В., Блинов Д.И. - №2011147442, заявл.22.11.2011; опубл. 27.10.2013.; приоритет 22.11.2011.

2. Патент 2506571 Российская Федерация, МПК G01N21/35. Способ измерения показателей качества нефтепродуктов / Скворцов Б.В., Скворцов Д.Б., Борминский С.А., Скотников Д.И., Солнцева А.В. - №2012134386; заявл.10.08.2012, опубл. 10.02.2014; приоритет 10.08.2012.

КАРМАННЫЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Старчак А.С., Порхунов А.А., Уваров А.А.
Научный руководитель: Лежнина И.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина 30
E-mail: Ambebap@gmail.com

Сердечно-сосудистые заболевания, безусловно, являются распространенными и социально значимыми заболеваниями во всем мире. В структуре летальности внезапная сердечная смерть занимает первое место и составляет более 50 % от общего числа летальных исходов [1]. При этом распространенность кардиологических заболеваний, вызывающих фатальные нарушения ритма, но часто протекающих бессимптомно, колеблется от 1:500 до 1:2500 человек; многие из них имеют наследственный характер[2]. Все эти факты свидетельствуют о необходимости применения надежных и удобных систем для наблюдения за состоянием пациента. Эту проблему решает электрокардиография, наиболее эффективный и совершенный метод исследования сердечно-сосудистых заболеваний.

Не смотря на это, ЭКГ имеет и свои слабые стороны. Основным недостатком электрокардиографии является её низкая доступность, так как приходится регулярно посещать поликлинику, что является проблематичным учитывая количество больных.

Исходя из этого, необходимо создать прибор для индивидуальной диагностики, который должен соответствовать следующим требованиям:

- удобство (процедура регистрации ЭКГ должна быть простой, проводиться без снятия одежды и не требовать других подготовительных мероприятий);
- надежность (пользователю должна быть предоставлена только интегральная, но достоверная информация о его текущем функциональном состоянии, которая может быть получена при упрощенной регистрации сигнала и не требует дополнительного визуального анализа ЭКГ);
- информативность (возможность выявления скрытых признаков нарушений в работе сердца под влиянием физических и эмоциональных нагрузок, которые недооцениваются при традиционной ЭКГ-диагностике);
- оперативность (результат должен быть получен не более чем за 30 секунд.)
- наглядность (форма представления результатов должна быть понятна человеку, не имеющему специальной медицинской подготовки).

В настоящее время существует целый ряд подобных устройств, так называемых карманных электрокардиографов. Для обеспечения вышеприведенных требований в них реализована упрощенная процедура регистрации ЭКГ первого стандартного отведения с пальцев и последующей обработкой сигнала в приборе и на ПК.

Рисунок 1. Расположение электродов в корпусе.

Для регистрации ЭКГ достаточно прикоснуться пальцами правой и левой рук к электродам, расположенным на передней панели и верхней части прибора (рисунок 1). Это позволяет производить оперативную оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека и выявления начальных признаков изменений в работе сердца под действием физических и эмоциональных нагрузок.

На данный момент коллективом кафедры ИИТ реализуется проект по созданию карманного электрокардиографа с автономным питанием, *OLED* экраном и управляющим элементом в виде 3-х кнопочной клавиатуры (рисунок 2).

Рисунок 2. Карманный электрокардиограф.

Прибор обеспечивает:

- регистрацию ЭКГ с пальцев рук;
- отображение ЭКГ в реальном времени на экране;
- сохранение информации на *SD* карте;
- считывание результатов и автоматическая обработка с *SD* карты на ПК;

- определение значений диагностических показателей;
- накопление данных для последующих консультаций с врачом.

Остальные технические характеристики приведены в таблице 1.

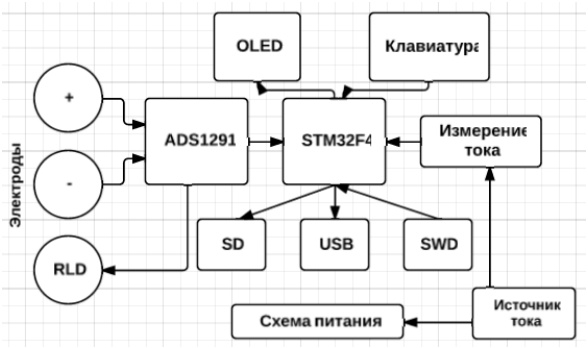


Рисунок 3. Структурная схема.

Обобщенная структурная схема прибора показана на рисунке 3.

Одной из особенностей прибора является применение интегральной схемы *ADS*1291, она позволила сократить количество компонентов и упростить проект. Схема имеет множество встроенных функций и содержит все элементы требующиеся для создания устройства. В качестве микроконтроллера применяется *STM*32*F*405*RG*, высокопроизводительный 32-х разрядный микроконтроллер на базе ядра *Cortex-M4F*. Прибор снабжен дисплеем *Wisechip UG*5664, это монохромный самосветящийся *OLED* дисплей, с низким начальным напряжением питания и энергосберегающими технологиями.

Таблица 1. Технические характеристики

Количество каналов:	1
Электроды:	4
Диапазон частот:	0,5 Гц-40 Гц
Входное сопротивление	1 ГОм
Частота дискретизации	500 Гц
Диапазон напряжений	3 мкВ – 2.4 В
Встроенная память:	*SD* Карта 2Гб
Синхронизация с ПК:	*USB 2.0*
Питание	ААА, 2 шт.

Электродами в приборе служат пластинки из фольгированного стеклотекстолита FR-4 с лужением ПОС-63, что обеспечивает приемлемый контакт и чувствительность. В дальнейшем планируется проведение исследований по сравнению материалов покрытия электродов, которые позволят судить, какое из покрытий наилучшим образом подходит для снятия ЭКГ с пальцев и обеспечивает наилучшее качество сигнала.

На рисунке 4 показан пример записи, полученной с помощью разработанного прибора. Полученных данных, достаточно для простейшего анализа сердечных отклонений в нарушении ритма.

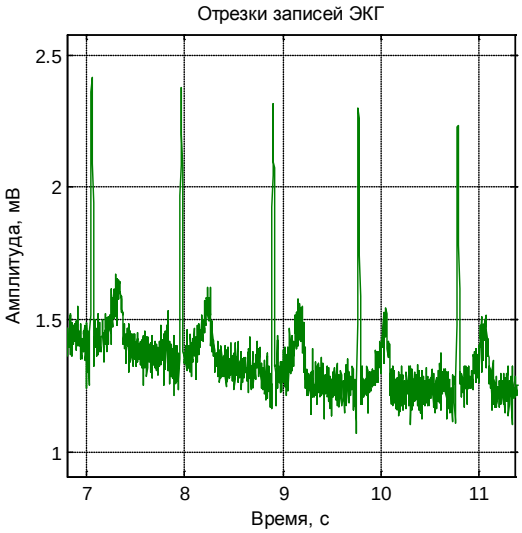


Рисунок 4. Запись ЭКГ, сделанная прибором

Упрощенный метод регистрации ЭКГ только от одного отведения, не может служить основой стандартного ЭКГ-вывода, но в то же время даже такая ограниченная информация позволяет судить о функциональном состоянии сердечной деятельности и с определенной степенью достоверности определять начальные признаки нарушений в работе сердца.

Такой подход к диагностике, когда пациент сам накапливает информацию, а затем врач её интерпретирует, позволяет сделать более обоснованные выводы о состоянии сердечно-сосудистой системы, чем эпизодический контакт пациента с врачом. К тому же это существенно уменьшает время необходимых обследований пациента в стационарных условиях и имеет положительные экономические последствия, как для пациента, так и для системы здравоохранения.

Проект поддержан грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых (конкурс МК-2014) «Разработка и исследования емкостных электродов для бесконтактной диагностики и методики их применения для электрокардиографии».

Литература:

1. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing suddencardiacdeath // Circulation. – 2011. – Vol. 124, № 5. – P. 651–656.

2. Beckmann B.-M., Pfeufer A., Kääb S. Inherited Cardiac Arrhythmias. Diagnosis, Treatment, and Prevention // DtschArztebl Int. – 2011. – Vol. 108, № 37. – P. 623–634.

3. Мурашко В.В. Струтынский А.В. «Электрокардиография»

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ НАСТРОЙКЕ БЕТАТРОНА

Сухарников К.В., Рычков М.М.
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет
E-mail: suharnikov@tpu.ru

Бетатроны прочно занимают свою нишу на рынке неразрушающего контроля. Несмотря на то, что массовое производство бетатронов, которое имело место во второй половине прошлого века, приостановлено, и во многих своих традиционных приложениях бетатрон был заменён на другие ускорители [1], вследствие своей простой конструкции и надёжности работы он до сих пор применяются в научных исследованиях и прикладных задачах [2].

В рамках модернизации бетатронов, производимых в Томском политехническом университете, планируется переход на технологии, позволяющие упростить работу с ускорителем. Одна из концепций, применяемых в новой системе — управление и настройка ускорителя с использованием одной линии связи. В качестве интерфейса связи принят стандарт Ethernet.

Целью работы является построение универсальной системы настройки бетатрона с возможностью её дальнейшей модернизации. Отсюда вытекает чётко поставленная задача работы — разработка устройства, использующего в качестве канала связи стандарт Ethernet, и позволяющего заменить использовавшиеся ранее решения.

Правильная настройка должна обеспечить нормальную длительную и эффективную эксплуатацию бетатрона. Под настройкой в общем случае понимают совокупность подготовительных работ с ускорителем. Обычно сюда входят: коррекция магнитного поля, синхронизация отдельных процессов работы бетатрона, подбор оптимальных условий инжекции, обеспечение возможности ускорения в камере, выбор оптимальных условий вывода электронов из камеры или сброса на мишень [3].

В монографии [3] выделяются следующие этапы настройки бетатрона:

1. Настройка электромагнита: определение положения равновесной орбиты, исправление азимутальной неоднородности поля в межполюсном пространстве.

2. Синхронизация и согласование работы систем инжекции и смещения с направлением кругового движения электронов в камере бетатрона и направлением изменения магнитного поля.

3. Подбор оптимальных условий инжекции электронов: подбор оптимального положения инжектора в поле бетатрона и тока инжекции, подбор оптимальной фазы подачи импульса напряжения, настройка схем, стабилизирующих излучение. Для малогабаритных бетатронов характерна так же подстройка системы контрактора, которая является обязательной в таких системах.

Последние пункты являются весьма малоисследованными. На данный момент в литературе не встречается подробного и исчерпывающего описания методики настройки. Специалисты, занимающиеся настройкой бетатронов на конечном этапе, выполняют подбор параметров эмпирическим путём. Процесс настройки в данном случае получается весьма трудоёмким, требует специальной подготовки и высокой квалификации специалиста.

Подбор оптимальных условий заключается в изменении нескольких параметров с целью поиска максимального значения мощности выходного излучения. При настройке изменяются такие параметры, как фазы и амплитуды токов инжекции и контрактора, форма импульса тока и напряжение на обмотке контрактора в момент инжекции. Традиционно настройка нескольких параметров производится включением в цепь управления потенциометра, с целью плавного регулирования управляющего напряжения. Другие параметры изменяются дискретно грубыми шагами.

Поскольку работающий бетатрон является источником ионизирующего излучения, он должен быть расположен в специализированном помещении, и доступ к нему во время излучения закрыт. Поэтому включаемый в цепь потенциометр переносится в защищённое от излучения помещение, при этом линия связи, передающая слаботочный аналоговый сигнал, может достигать десятков метров в длину

Очевидно, что для настройки бóльшего числа параметров потребуется бóльшее число линий связи. Это вносит дополнительные трудности в процесс настройки. Помимо вышеперечисленного, важным недостатком такой системы является её слабая помехозащищённость.

Использование цифровых технологий позволяет избежать этой проблемы. В отличие от аналогового сигнала, цифровой сигнал может быть восстановлен без искажений [4]. Использование в данном случае стандарта Ethernet увеличивает надёжность системы настройки, повышает её совместимость с другими элементами ускорителя. Так же следует отметить и другие преимущества сети Ethernet:

1. Надёжность, невысокая цена и доступность оборудования, лёгкость настройки и обслуживания.

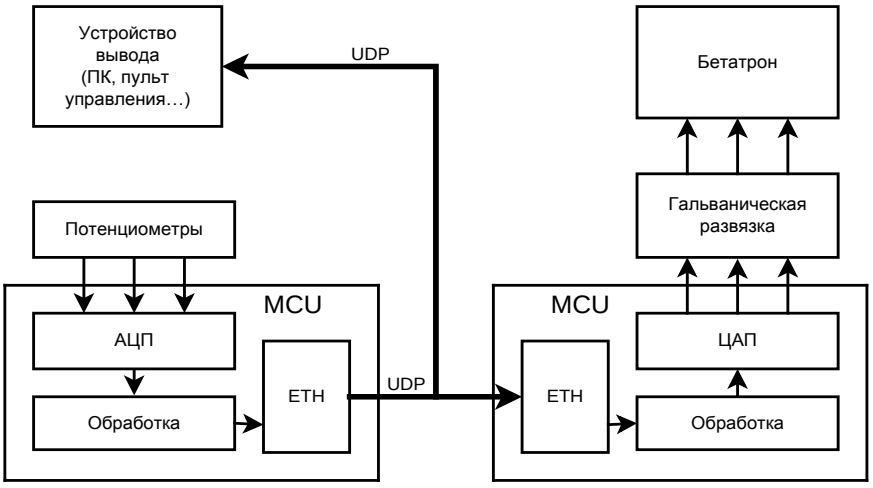


Рис. 1. Структурная схема устройства

2. Высокая помехоустойчивость вследствие использования дифференциального сигнала.

3. Гальваническая развязка трансформаторного типа при использовании витой пары.

4. Полная поддержка TCP/IP, что позволяет произвести лёгкий переход от витой пары на беспроводной или оптический каналы [5].

В качестве основного элемента системы, структурная схема которой показана на рис. 1, был выбран микроконтроллер STM32F407VG. В составе периферии микроконтроллера имеются все необходимые для работы схемы элементы: таймеры, двенадцатиразрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП/ADC), контроллер прямого канального уровня Ethernet MAC10/100 с поддержкой стандарта IEEE 1588 v2 [6].

Конструктивно система состоит из двух устройств. Первый элемент — устройство ввода. Оно преобразует аналоговые сигналы с прецизионных потенциометров в двенадцатибитные числа (от 0 до 4095) и передаёт их в UDP-пакете по сети. Фактически присутствие этого устройства необязательно, те же функции могут успешно выполняться программным обеспечением на ПК, включённом в сеть. Оно было разработано и включено в систему из соображений удобства для специалиста-настройщика, то есть для постепенного перехода к цифровой настройке. Вторая часть устройства выполняет обратное преобразование с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и фильтра нижних частот. Устройство имеет три гальванически развязанных канала, что делает его универсальным при настройке системы. Диапазон регулировки зависит от величины опорного напряжения, которое может достигать 30 В.

В качестве устройства вывода может быть использован любой ПК, включённый в сеть. В рамках разработки системы была так же создана программа для ПК, отображающая текущее значение.

Результатом работы являются два универсальных самодостаточных устройства, которые могут быть использованы как в системе, так и по отдельности. Устройство было испытано в лабораторных условиях на рабочем бетатроне. Также были проведены испытания с переходом на радиоканал (стандарт Wi-Fi). Устройство продемонстрировало стабильную работу в условиях сильных электромагнитных помех и ионизирующего излучения.

Разработка устройства косвенным образом приближает процесс модернизации бетатрона к одной из основных её целей — переходу к полностью автоматической цифровой настройке ускорителя. Методики, разработанные в процессе проектирования устройства, будут применены в будущем при реализации системы автоматической настройки. А разработанные устройства, благодаря своей гибкости и возможности перепрограммирования, могут применяться в широком диапазоне задач дистанционного регулирования параметров в прикладных инженерных разработках и научных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1) Krieger H. Strahlungsquellen für Technik und Medizin. – Auflage: 2. – Springer Spektrum, 2013. – 503 s.

2) Черняев А.П., Ускорители в современном мире. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 368 с.

3) Ананьев Л.М., Воробьев А.А., Горбунов В.И., Индукционный ускоритель электронов – бетатрон. – М.: Госатомиздат, 1961. – 350 с.

4) Хоровиц П., Искусство схемотехники : пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – 6-е изд.. – М.: Мир, 2003. – 704 с.

5) Таненбаум Э.С. Компьютерные сети : пер. с англ. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд.. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 955 с.

6) STM32F407xx Advanced ARM-based 32-bit MCUs // Reference manual, STMicroelectronics

ЛОГГЕР УСКОРЕНИЙ

Тимофеев В.Ю.
Научный руководитель: Селезнев А.И.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

В настоящее время активно используются услуги по доставке товаров от продавца к покупателю. Ряд проблем затрудняет этот процесс, в частности, при доставке на большие расстояния, товар проходит через множество посредников, что увеличивает риск повредить вещь. В случае если товар все-таки был поврежден, для компании доставки будет важна информация о времени удара, чтобы выяснить на каком этапе произошли повреждения и предотвратить возникновение подобных ситуаций в будущем. Для регистрации времени и силы удара предлагается использовать логгер ускорений. Кроме того, данный прибор может быть полезен в системах мониторинга состояния механизмов, подверженных вибрациям, например, ветряных электростанций и других быстро вращающихся частей механизмов. Российские аналоги данного прибора представлены не многими компаниями. Например, разработки компании “ЛНК” города Пермь представляют собой модули сложных составных систем контроля многих параметров (давления, вибрации, температуры), имеют высокую цену, сложны в использовании, вследствие чего не ориентированы на типичного пользователя. [1]

Разрабатываемый прибор должен измерять вектор ускорения и иметь возможность сохранять время, когда текущее значение превысит пороговое. Поэтому в его состав должен входить сенсор, для отслеживания изменений вектора, и контроллер, для обработки и вывода полученной информации.

В данном приборе в качестве основного датчика будем использовать акселерометр. За последние несколько лет широкое распространение по всему миру получили датчики, основанные на микро электромеханических системах, так называемых МЭМС. Популярность данных устройств обусловлена рядом причин, основными из которых являются простота их использования, относительно низкая цена и малые габариты. МЭМС-датчики, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала и не имеют движущихся частей, в отличии от их громоздких высоко стоимостных механических аналогов и сверхточных хрупких оптических. Этим обуславливается их высокая надежность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи). Совокупность данных преимуществ показывает, что МЭМС-сенсоры лучше всего подходят для данной задачи.

В данном приборе рационально использовать акселерометр с цифровым интерфейсом: к ним не предъявляются высокие требования по помехозащищенности, нет необходимости использовать АЦП и источник опорного напряжения для него. С другой стороны, применение высокоточного многоразрядного АЦП и аналогового датчика в некоторых случаях позволяет достичь высокой чувствительности прибора. Но организация таких систем требует применения прецизионных компонентов, что, как следствие, удорожает прибор. Для описываемого прибора достаточно использовать датчик, обеспечивающий среднюю точность измерений, поэтому используем цифровой МЕМС.

Для связи датчика с контроллером используем четырех проводной, сравнительно не сложный интерфейс сопряжения SPI (*Serial Peripheral Interface*). Он обеспечивает надежную передачу данных и широко поддерживается многими устройствами.

Возьмем акселерометр фирмы STM - LIS3LV02DL [2]. Данный сенсор имеет цифровой интерфейс передачи данных SPI. Датчик выводит любые изменения проекций вектора G (вектор результирующего ускорения) на оси Ox, Oy, Oz (см. рис.1) . Совокупность этих данных позволяет делать выводы о характере перемещений датчика. Таким образом, будет известна вся информация о положении в пространстве и приложенной к сенсору силы.

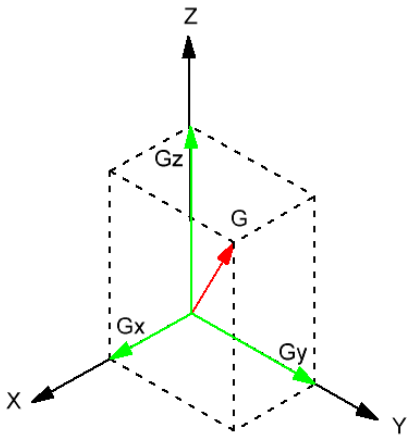


Рис 1. Принцип определения значения вектора

Датчик измеряет значения проекций вектора G Gx, Gy, Gz. Само же значение G равно векторной сумме его проекций

Для задачи конструирования логгера ускорений необходим микроконтроллер средней

производительности, доступной цены, с поддержкой SPI и возможностью создания часов реального времени. Контроллеры фирмы ATMEL, а в частности ATmega8 [3] подходят для данных целей, просты в программировании и широко распространены. Выбранный контроллер имеет все необходимые функции для работы с цифровыми датчиками. Присутствует UART модуль, который позволяет сопрягать микроконтроллер с компьютером. Так же есть внешний вход для тактирования таймера.

Несмотря на то, что данный прибор подразумевается как портативное устройство, работающее от автономного источника питания, внешних устройств вывода, таких как дисплей или индикаторы он не имеет. Поэтому необходим компьютер для вывода информации. Для связи контроллер-ПК используется широко распространенный USB интерфейс. Но его разработка требует больших трудозатрат разработчика, как со стороны написания программы для контроллера, так и для написания ПО для компьютера. По этой причине лучшим решением будет использовать встроенный в ATmega8 UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). В таком случае для связи с компьютером необходимо наличие на нем COM порта. В современных моделях этот интерфейс почти не устанавливается за ненадобностью (по причине вытеснения его USB), а в современном ноутбуке и вовсе отсутствует. Микросхема FT232 решает данную проблему, являясь преобразователем уровней, ее использование позволяет осуществлять связь USB-UART. Так же преимуществом данного способа является отсутствие необходимости создания софта для работы с ПК, так как все необходимое ПО находится в свободном доступе (разновидности программы Terminal).

Принцип работы прибора состоит в следующем. Во время включения питания микроконтроллер настраивает режим работы SPI и UART модулей, инициализирует работу таймера. Далее необходимо установить реальное время. Для этого используется связь контроллера с компьютером. Используя программу Terminal в режиме диалога, сообщаем о часах, минутах и секундах. Далее прибор работает в нормальном режиме. Постоянно следит за значением вектора G и сравнивает его с пороговым. Использование постоянной записи текущего значения вектора ускорения требует больших объемов памяти, например, подключение дополнительной SD карты. Данный фактор удорожает и усложняет конструкцию и целесообразность использования ATmega8. Достаточно постоянно следить за амплитудой вектора и при превышении порогового значения сохранять в память только амплитуду значения и соответствующее время. Соответствующие данные целесообразно хранить во FLASH памяти контроллера.

Вывод данных происходит при подключении прибора к компьютеру. По нажатию кнопки контроллер выдает все значения из памяти в следующем формате:

G=1.5 time 13:54:32

G=1.2 time 13:54:40

При отключении питания все предыдущие измерения, включая информацию о текущем времени стираются. При повторном включении необходимо вновь установить текущее время. ATmega8 не имеет специального режима низкого энергопотребления для часов реального времени. Поэтому чтобы реализовать такую систему необходимо будет использовать отдельную микросхему часов, что опять усложняет прибор и программный код в целом. В данных условиях при использовании таких комплектующих это не целесообразно.

Применение компонентов в малогабаритных LGA и TQFP корпусах, а также использование печатных плат с высокой плотностью соединений позволяет создать прибор небольших габаритов.

Так же использование дополнительных преобразователей питающего напряжения позволит уменьшить размеры аккумуляторов и продлить длительность автономной работы прибора.

Некоторые грузы имеют особые требования по температуре и влажности, поэтому одним из направлений развития является установка дополнительных сенсоров, которые позволят регистрировать изменения микроклимата окружающей среды.

Применение логгера ускорений позволит повысить качество работы служб доставки, сократить время разбирательств, связанных с порчей имущества, и принять меры по предотвращению подобных ситуаций в будущем.

В случае необходимости в постоянном мониторинге состояния движущихся частей механизмов данный прибор может быть оснащен функцией вырабатывания сигнала аварийного отключения при превышении установленного порога вибраций.

Литература

1. Логгер ускорений HOBO Pendant G. URL: http://loggers.ru/products/i/logger-uskorenijj-hobo-pendant-g/ (дата обращения: 21.02.2014)

2. ATmega8(L) Complete. URL: http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf (дата обращения: 21.02.2014)

3. LIS3LV02DL Linear Accelerometer 3-Axis ±2g/ ±6g with SPI/I2C digital interface. URL: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00091417.pdf (дата обращения: 21.02.2014)

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

Туранов С.Б., Козырева И.Н., Яковлев А.Н.
Научный руководитель А.Н. Яковлев, к. ф-м. н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tyrsb@yandex.ru

Областей применения светодиодов становится все больше и больше. Так, например, в настоящее время уже никого не удивишь световым прибором для растений (фитосветильником) на базе светодиодов. Фитосветильником называют световой прибор для стимуляции роста и развития растения, применяемый при полном отсутствии или дефиците естественного света, например в зимний период. Оценка фитохарактеристик такого светильника, является неотъемлемым и важнейшим этапом его проектирования.

Только часть оптического диапазона способствует развитию растения – область фотосинтетически активной радиации (ФАР) [1, 2]. ФАР – часть излучения видимого оптического диапазона, к которому растение наиболее восприимчиво, необходимого и достаточного для обеспечения жизнедеятельности и образования биомассы в процессе фотосинтеза [1, 3, 4, 5, 6]. Принятые за рубежом границы ФАР 400–700 нм несколько отличаются от отечественных 380–710 нм [2, 4, 5, 7, 8], 380–720 нм [9]. Однако данное различие не существенно отражается на измерении ФАР [2].

ФАР измеряют с помощью энергетических и световых величин [5]. Оценка ФАР по световым величинам усложнена необходимостью пересчета. Большой проблемой при оценке фар, является большое разнообразие встречающихся в научной литературе величин, характеризующих падающее на растения и воспринимаемое ими оптического излучения. Например, в отечественной литературе можно встретить следующие единицы измерения: кал·см$^{-2}$·мин$^{-1}$[2], эйнштейн/см^2, эрг·см$^{-2}$·с$^{-1}$ [5, 9, 10]; интенсивность ФАР, Вт/м^2 [11, 12]. За рубежом распространена оценка растениеводческих ИИ по потоку фотонов. Зарубежные исследователи указывают значения плотности фотосинтетического потока фотонов в мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$ (μmol·m^{-2}·s^{-1}) [3, 13]. Такой подход требует корреляции числа фотонов с количеством молекул вещества, способных его воспринять. Число фотонов, равное числу Авогадро (N_A=6,026·10^{23} моль$^{-1}$), принято как единица фотонного потока, получившая название Эйнштейн. Вместо названия Эйнштейн нередко используется термин, являющийся синонимом – «моль квантов» [1]. Отсутствие единого подхода к измерению потока фотонов, безусловно связано с отсутствием официальной единицы измерения фотонного потока в международной системе СИ.

Стоит отметить, что применение различных единиц для оценки эффективности фитосветильников очень неудобно, так как требует трудоемкого пересчета при анализе результатов исследований, а также затрудняет сравнение уже полученных различными авторами результатов исследований эффективности воздействия на растения оптических излучений, особенно при использовании разных типов источников света и видов растений.

В литературе присутствуют разрозненные данные по методам оценки ФАР. Многие исследователи предлагают свои методы, и активно ими пользуются, но сводная информация отсутствует, поэтому рассмотрим наиболее распространенные из них.

1. Измерение с помощью квантовых датчиков

Один из самых простых способов оценки ФАР – это измерение с помощью квантовых датчиков. Точность измерений датчиком достигается из-за учета спектральной чувствительности растений, которая включена в алгоритм обработки прибора. Проведение измерений в нужном спектральном диапазоне обеспечивается применением системы стеклянных и интерференционных фильтров. В результате, спектральная характеристика (рис. 1) квантового датчика совпадает с областью ФАР.

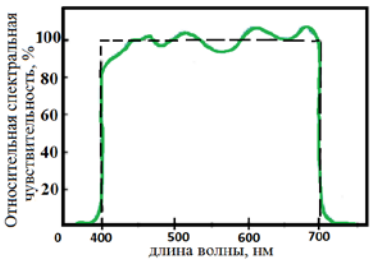


Рисунок 1 – Спектральная характеристика квантового датчика LI-190SA [3]

Такие приборы могут измерять ФАР в энергетических величинах (Вт·м$^{-2}$) или определять число квантов на единицу площади в единицу времени (плотность фотосинтетического потока фотонов, мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$).

2. Методика пересчёта световых величин лучистой энергии в энергетические единицы

Энергетические и фотометрические величины резко отличаются друг от друга по способу их регистрации. Соответственно, очень важным вопросом является пересчет световых величин в энергетические. Данная методика пересчёта [15] включает измерение освещенности на поверхности облучаемой поверхности, и дальнейший пересчет полученного значения в энергетические величины.

3. Сравнение спектра излучения светодиодного источника света со спектром излучения эталонного источника света с известным распределением энергии излучения в спектре

Данная методика оценки ФАР, основана на определении спектральной плотности энергетиче-

ской (габаритной) яркости светодиодных модулей стандартными методами с использованием ламп с известной цветовой температурой [16].

4. Оценочный пересчет для монохроматического излучения

Данный метод пересчета энергетических величин в фотонные основан на использовании уравнения Планка. В этом методе, происходит оценочный расчет ФАР по известной мощности источника света и стандартным величинам [17]

5. Корреляция между фотометрическими, энергетическими и фотосинтезными величинами

Для упрощения сравнительной оценки эффективности различных источников излучения по известным спектральным характеристикам, предложена методика [18, 19], использующая корреляцию между фотометрическими, энергетическими и фотосинтезными величинами.

Заключение

Правильная оценка фотосинтетически активной радиации является очень важной и актуальной задачей облучательной светотехники при исследовании воздействия излучения на растения. В статье рассмотрены пять самых распространённых методов оценки ФАР. Проанализировав каждый из них, можно сделать вывод, что измерение ФАР с помощью квантовых датчиков является наиболее простым и не требующим дополнительных расчетов методов. Также следует отметить метод предложенный Малышевым. Так как этот метод предлагает сравнительную оценку эффективности различных источников оптического излучения по уже известным спектральным характеристикам, его можно использовать для светотехнических расчетов в программных комплексах (DIALux, Relux, ArCon, LightWave и др.), что очень важно для проектировщиков фитосветильников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-00109 а.

Литература

1 Тихомиров А.А. Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000.– 213 с.

2 Тооминг Х.М., Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. – М.: Наука. 1967. – 144 с.

3 Radiation Measurement Instruments [электронный ресурс] URL: http://www.licor.com/env/pdf/light/RMB.pdf (дата обращения 18.12.2013).

4 Мурей И.А., Шульгин И.А. Физиологические подходы к оценке использования лучистой энергии растением // Светотехника. – 1979. –№ 9. – 16-18 с.

5 Леман В.М. Курс светокультуры растений. – М.: Высшая школа. – 1976 – 271 с.

6 Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972 с.

7 Головнева Н.Б., Терентьев В.М., Федюнькин Д.В. Об оценке эффективности излучения для выращивания растений // Светотехника. – 1980. – № 5 – 16-17 с.

8 Вассерман А.Л., Малышев В.В. Об оценке эффективности облучения растений // Светотехника. – 1985. –№ 8 – 16-17 с.

9 Клешнин А.Ф. К вопросу об измерении лучистой энергии для ботанических целей // Светотехника. – 1980. –№ 10 – 19-20 с.

10 Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света.–М.:Наука,–1965.311 с.

11 Козырев Б.П. Оценка эффективности излучения для растений // Светотехника. – 1971. –№ 4 – 16-17 с.

12 Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37, вып. 2. – 386-396 с.

13 Кхан Т.К., Шпентьес Н., Эльце Т. Предложения по оценке излучения, физиологически активного для растений // Светотехника. – 2003. № 1. – 40-41с.

14 Principles of radiation measurement/Брошюра компании LI-COR. [электронный ресурс] URL: http://www.licor.com/env/pdf/light/Rad_Meas.pdf (дата обращения: 31.01.2014).

15 Геворгиз Р.Г., Щепачев С.Г. Методика пересчета фотометрических единиц освещенности в единицы энергетического количества. [электронный ресурс] URL: http://biotex.ibss.org.ua/methods.html?order=ASC&pn=2 (дата обращения 31.01.2014).

16 Козырева И.Н., Корепанов В.Н., Фотосинтетическая оценка светодиодных модулей для облучения растений // XI международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» – Саранск: изд-во Афанасьев В.С., 2013. – 38-41 с.

17 Ritchie R.J. Modelling photosynthetic photon flux density and maximum potential gross photosynthesis // Photosynthetica. – 2010. – 48 (4). – P.596–609.

18 Малышев В.В., Кручинин П.Г., Летаев С.А. Оценка эффективности источников оптического излучения для растениеводства. // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – №4. – 19–22 с.

19 Козырева И.Н., Никитин В.Д., Цугленок Н.В. Графоаналитическая интерпретация параметров и характеристик источников излучения для растениеводства // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №. 12. – 236–241с.

ИСТОЧНИК АСИММЕТРИЧНОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГЛИОКСАЛЯ

Тюнин С. С., Храмцов А. В.
Научный руководитель - Семенов В. Д., к.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 40
E-mail: tun89@mail.ru

Разработка специализированных источников тока и напряжения для различных отраслей науки и промышленности является на сегодняшний день актуальной потребностью. Одной из отраслей, в которой требуется применение таких специализированных источников – является электрохимия, где в настоящее время идет научно-практический поиск возможности применения нестационарных токов. В частности, одним из направлений исследований в этой области, является решаемая в Лаборатории каталитического синтеза НИ ТГУ задача по очистке водных растворов глиоксаля от органических кислот с помощью электродиализа, проводимого нестационарными токами. Актуальность решения этой задачи показана в [1] и [2].

Для осуществления экспериментальных исследований электродиализного метода очистки растворов глиоксаля с помощью нестационарных токов различной частоты и амплитуды, в СКБ «Импульс» Кафедры промышленной электроники ТУСУР ведется разработка специализированного источника тока и напряжения. Основные характеристики, разрабатываемого источника приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики, разрабатываемого источника

Режим стабилизации	Ток / Напряжение
Форма выходного тока	Прямоугольная (Меандр)
Регулирование амплитуды	Независимое для положительной и отрицательной полуволн
Регулирование скважности	0,5 – 0,95
Пределы регулирования амплитуды тока	0 – 1,5 А
Пределы регулирования амплитуды напряжения	0 – 200 В
Пределы регулирования частоты	1 Гц – 200 кГц
Дискретность регулирования частоты	1 Гц, в диапазоне 1 Гц – 200 Гц 1 кГц, в диапазоне 1 кГц – 200 кГц

Необходимость разработки такого источника обуславливается тем, что, несмотря на существующие значительное количество готовых решений (в том числе схемотехнических) в данной области – ни одно из них не удовлетворяет частотным характеристикам, приведенным в таблице 1.

В ходе выполнения исследований, авторами было предложено в качестве основы для проектирования источника схемотехническое решение, представленное в [3]. В качестве основы предложенного решения были использованы непосредственные импульсные преобразователи. В таких преобразователях нагрузка и источник напряжения связаны между собой[4]. Непосредственные преобразователи дают возможность регулирования уровня напряжения или тока на выходе. Используя два таких преобразователя, включенных определённым образом, можно добиться формирования необходимого сигнала тока или напряжения в нагрузке. Общая структурная схема предложенного схемотехнического решения (источника асимметричного тока или напряжения) представлена на рисунке 1. На рисунке 1 непосредственные преобразователи обозначены как регуляторы (Р1 и Р2), так как выполняют функцию регулирования амплитуды полуволн выходного тока или напряжения.

Рис.1. Общая структурная схема источника асимметричного тока или напряжения на основе непосредственных преобразователей.

Как видно из рисунка 1, преобразователь состоит из двух регуляторов, подключенных к общему источнику напряжения. Выходы регуляторов подключены к дросселям L1 и L2, и датчикам Д1 и Д2. Коммутация нагрузки происходит с помощью двух транзисторных ключей VT1 и VT2. Принцип работы схемы заключается в независимом регулировании уровня тока каждым из регуляторов. Формирование положительной полуволны осуществляется с помощью ключа VT2, при этом ключ VT1 разомкнут, регулятор Р1 работает в режиме стабилизации тока или напряжения на нагрузке благодаря обратной связи, обеспечиваемой датчиком Д1. Регулятор Р2 при этом работает в режиме короткого замыкания регулируемого тока. При формировании отрицательной полуволны,

транзистор VT1 замыкается, а VT2 размыкается и возникает обратная ситуация – регулятор Р2 работает на нагрузку, а Р1 – в режиме короткого замыкания. Параметры выходного сигнала в такой схеме (частоты, коэффициента асимметрии) задаются с помощью системы управления, организующей работу ключей таким образом, чтобы избежать аварийных ситуаций.

Для проверки работоспособности описанного в [3] технического решения было проведено моделирование его работы в среде MatLAB Simulink. На рисунке 2 приведена внутренняя структура подсистемы, моделирующей работу двух независимых преобразователей на активную нагрузку.

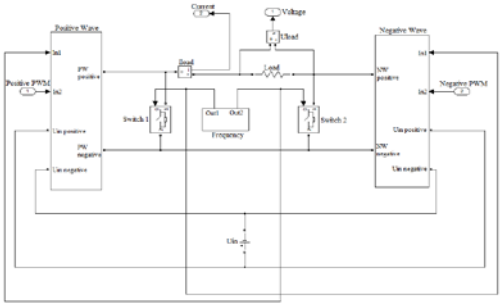


Рис. 2. Модель источника асимметричного тока или напряжения в MatLAB Simulink

На рисунке 2, регуляторы Р1, Р2 и их соответствующие системы управления представлены в виде двух симметричных подсистем «PositiveWave» и «NegativeWave». Система управления ключами-формирователями (VT1, VT2 – обозначены соответственно как Switch 1 и Switch 2) выходного сигнала представлена в виде подсистемы «Frequency». Нагрузка обозначена, как «Load». В качестве источника входного напряжения используется идеальный источник постоянного напряжения «U_{in}». В качестве измерителей используются датчик тока «I_{load}» и датчик напряжения «U_{load}». Информация с датчиков поступает на соответствующие выходные информационные каналы «Current» и «Voltage». Подсистемы «PositiveWave» и «NegativeWave» обеспечивают также реализацию необходимого закона управления регуляторами [5].

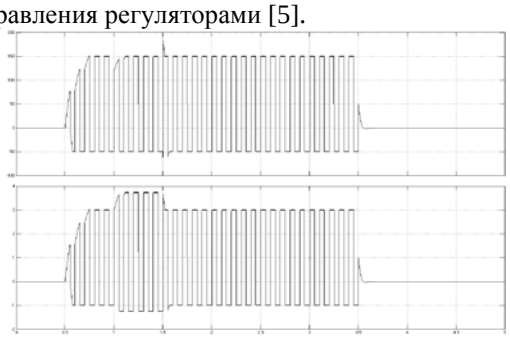


Рис.3. - Диаграммы напряжения (сверху) и тока (снизу)

Математическое моделирование проводилось с целью изучения работы источника на активную нагрузку, при резком изменении её активного сопротивления. Результаты моделирования приведены на рисунке 3. При этом сопротивление нагрузки на рисунке 3 изменялось в порядке: 50Ом, 40Ом, 50Ом.

На рисунке 3 в начальный момент времени система бездействует, в момент времени 0.5с, импульсы управления подаются на все ключи согласно алгоритму работы преобразователя. Стабилизация напряжения осуществляется на заданном уровне (150В положительная полуволна и 50В отрицательная полуволна). В момент времени 1с происходит резкое уменьшение нагрузки, при этом стабилизация напряжения происходит в штатном режиме. В момент времени 1.5с происходит увеличение нагрузки до прежнего значения, при этом наблюдается незначительный импульс напряжения до уровня 190В длительностью не более 10мкс. Стабилизация напряжения осуществляется на заданном уровне.

1. Патент на изобретение №2455052. Опубликован 10.07.2012. Способ очистки концентрированных водных растворов глиоксаля от примесей органических кислот. Непомнящих Д. В., Крейкер А. А., Князев А. С., Жарков А. С., Певченко Б. В.
2. Электродиализная очистка водных растворов глиоксаля от примесей органических кислот. / Сосновский С. А., Сачков В. И. Материалы Международной объединенной конференции – V конференции «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», IV конференции «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей» (16-20 сентября 2013 г.) / Институтхимии растворов им. Г.А. Крестова РАН - Иваново, 2013. - 211 с. С. 176
3. Патент на полезную модель РФ № RU 134371 U1 МПК H02M/00, Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. №31 Источник асимметричного тока или напряжения/Семенов В. Д., Клакович О. В., Храмцов А. В., Тюнин С. С.
4. Энергетическая электроника: Учебное пособие. В 2-х частях / А. В. Кобзев, Б. И. Коновалов, В. Д. Семенов – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – Ч.1. – 102с.
5.«Источник асимметричного тока или напряжения на основе непосредственных преобразователей» / О. В. Клакович, С. С. Тюнин, А. В. Храмцов, В. Д. Семенов. Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 2013 г.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Хорсов П.Н., Суржиков В.П.
Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: horsov_petr@mail.ru

Контроль необратимых процессов в материалах, подвергающихся воздействию механических нагрузок, представляет как научный, так и практический интерес. Под необратимыми процессами понимается локальное изменение структуры материала под нагрузкой за счет дефектообразования и пластического течения в тех зонах образца, в которых не выполняется закон Гука.

Для этой цели наиболее широко используется метод акустической эмиссии, который позволяет оценивать процесс дефектообразования материалов под нагрузкой. Существенным недостатком метода является то, что с его помощью возможна регистрация только процесса образования или развития дефектов, т.к. только в этом случае генерируются акустические волны. Поэтому при помощи этого метода трудно оценивать концентрацию дефектов, что является важным при разработке методов контроля прочности.

Альтернативой методу акустической миссии является разрабатываемый на протяжении ряда лет метод механоэлектрических преобразований (МЭП) [1] в гетерогенных диэлектрических материалах. Суть метода заключается в том, что образец возбуждается коротким механическим импульсом, при этом в образце происходят МЭП на границах гетерогенных материалов и на включениях, обладающих пьезоэлектрическими свойствами, через которые проходят акустические волны импульсного возбуждения. В результате МЭП возникает переменное электромагнитное поле, которое можно зарегистрировать электрическими или магнитными датчиками.

Электромагнитный отклик представляет собой суперпозицию откликов при воздействии на источник механоэлектрических преобразований фронтов акустических волн возбуждения, многократно отраженных от границ образца, рассеянных на дефектах, а также деформируемых локальными изменениями упругих постоянных в условии напряженно-деформированного состояния образца.

Исследования показали, что электрический отклик, обусловленный МЭП в образце при отсутствии внешнего на него воздействия, имеет весьма низкую стохастическую составляющую, что позволяет путем повторных возбуждений эффективно накапливать полезный сигнал, повышая отношение сигнал-шум, и тем самым увеличивать чувствительность системы по обнаружению малых изменений исследуемых параметров образца.

С учетом вышеназванных особенностей МЭП в Томском политехническом университете разработана высокочувствительная мультисенсорная аппаратура контроля на основе МЭП [2]. Ее отличие от традиционно используемых методов МЭП заключается в том, что она позволяет анализировать не только временные, но и пространственные характеристики откликов. Второе существенное отличие заключается в том, что при внешних неизменных условиях производится многократное импульсное возбуждение образца при помощи высокостабильного генератора и осуществляется накопление полезного сигнала путем суммирования откликов. Аппаратура показала высокую чувствительность к изменению поверхностных дефектов, нанесенных на образец [3], объемных дефектов в виде полостей [4], а также высокую барическую чувствительность при одноосном сжатии образца [5].

Целью настоящей работы было дать оценку изменения дефектности образца после его одноосного сжатия на прессе до заданной нагрузки. Образец был изготовлен из эпоксидной смолы с наполнителем из песка с большим содержанием кварца. Форма образца – прямоугольная с размерами 94 мм х 76 мм х 58 мм.

Вблизи одной из поверхностей образца закреплялись приемные пластинки емкостных датчиков, воспринимающих электрическое поле механоэлектрических преобразований и преобразующих его в электрический сигнал. К боковой грани образца прижималось устройство возбуждения. На него подавалась серия из 80 коротких электрических импульсов заданной формы и амплитуды, сформированная специальным высокостабильным генератором. Сигнал оцифровывался с частотой 1 МГц. Электрический отклик с емкостных датчиков преобразовывался в цифровой вид и поступал в ЭВМ для хранения и дальнейшей обработки.

Находились средние значение в каждой точке выборки временных реализаций откликов при повторных возбуждениях образца, а также среднеквадратичные отклонения для каждой точки временной выборки отклика.

Сначала на образец подавалось давление 1.3 МПа, которое принималось за начальное, и осуществлялась процедура возбуждения - измерения.

Затем регистрировались отклики при возбуждении образца, на котором давление последовательно повышалось ступенчато, вплоть до разрушения образца (при уровне давления 65 МПа). Для анализа были использованы отклики с одного из датчиков при давлениях на образец в (1.3, 13, 26) МПа. Для оценки степени дефектности были получены отклики после сбросов давлений с уровней 13 МПа и 26 МПа до начального.

Обозначим средние значения откликов: при нагрузках 1,3 МПа, 13 МПа и 26 МПа как $S_0(t)$, $S_1(t)$ и $S_2(t)$ соответственно. Значения разностей откликов при нагрузках 13 МПа и 26 МПа и начальной обозначим $S_{01}(t)$, и $S_{02}(t)$, значения откликов после сброса давления с уровней 13 МПа и 26 МПа до начального - как $S_{10}(t)$, и $S_{20}(t)$, а разность между откликами после сброса нагрузок с уровней 13 МПа и 26 МПа и начальной нагрузкой обозначим соответственно $S_{100}(t)$, и $S_{200}(t)$.

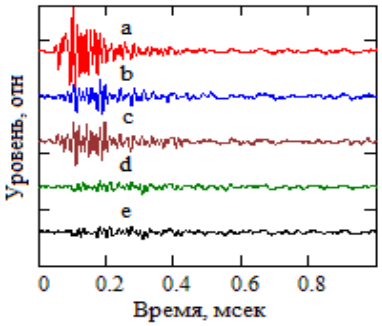


Рис.1. Отклики сигналов.
a – $S_0(t)$; **b** – $S_{01}(t)$; **c** – $S_{02}(t)$; **d** – $S_{100}(t)$; **e** – $S_{200}(t)$.

Как следует из рис.1, разность откликов при указанных нагрузках по сравнению с начальной довольно существенная во временной области до 500 мкс. Затем разность уменьшается, но не спадает до нуля. Естественно предполагать, что разностные отклики содержат в себе информацию как об обратимых процессах в образце, связанных с его упругими свойствами, так и о необратимых, в число которых могут входить вновь образованные под действием нагрузки на образец дефекты, искажающие фронты акустических волн.

Из кривых (**d**) и (**e**) видно, что имеет место заметные разности между откликами при начальном давлении и откликами после сброса давлений. Эти разности, если они статистически достоверны, характеризуют необратимые процессы, происходящие в образце, подвергнутом механическим нагрузкам.

Для того чтобы убедиться, что выявленные различия являются достоверными, была произведена проверка того, что полученные различия в средних значениях откликов в каждой точке выборки статистически достоверны. Для статистической оценки был использован критерий Стьюдента. Были рассчитаны *t*-статистики разности средних значений и критический уровень *T* при $\alpha=0.005$

На рис. 2. показаны график *t*-статистики разности откликов при начальном давлении и том же давлении после сброса с уровня 12.8 МПа и уровень критического значения T (жирная светлая линия).

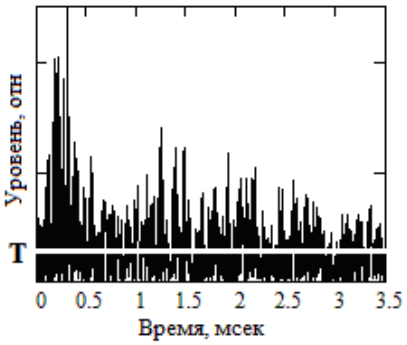


Рис 2. Проверка статистических гипотез по критерию Стьюдента.

Как видно из рисунка, с вероятностью 99.5 % практически во всем интервале временной реализации различия в средних значениях является значимыми.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что аппаратуру мультисенсорного контроля можно использовать для исследования дефектности диэлектрических материалов в условиях напряженно-деформированного состояния по пространственно-временным параметрам откликов.

Список литературы:

1. Гордеев В.Ф., Елисеев В.П., Малышков Ю.П. Аппаратура для контроля качества неметаллических материалов и изделий по характеристикам электромагнитной эмиссии. //Дефектоскопия. – 1994. - № 4. – С. 48-54

2. Суржиков В.П., Хорсов Н.Н., Хорсов П.Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов // Контроль. Диагностика. - 2011 - №. 11 - С. 17-20.

3. Surzhikov V. P. , Khorsov N. N. , Khorsov P. N. The Effect of Volumetric Defectiveness on the Spatiotemporal characteristics of an Electromagnetic Response during Acoustoelectric Transformations in Dielectric Specimens // Russian Journal of Nondestructive Testing . - 2012 - Vol. 48 - №. 2 - p. 85-89

4. Суржиков В.П, Хорсов Н.Н. Влияние локальной поверхностной дефектности на пространственно-временные характеристики электромагнитного отклика при акустоэлектрических преобразованиях в диэлектрических образцах // Контроль. Диагностика. - 2011, Вып. специальный - С. 132-134.

5. Surzhikov V. P. , Khorsov N. N. The influence of a uniaxial load on the spatio-temporal characteristics of the electromagnetic response during acoustoelectric transformations in dielectric specimens // Russian Journal of Nondestructive Testing . - 2011 - Vol. 47 - №. 10 - p. 687-690

Работа выполнена в рамках государственного задания "Наука".

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ

Худоногова Л.И., Бедарева Е.В.
Научный руководитель Муравьев С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: likhud@tpu.ru

Введение

При испытаниях электроэнергетического оборудования, таких как мощные трансформаторы, силовые размыкатели, коммутаторы, защитные устройства, а также при контактной сварке и нанесении покрытий методов микродугового оксидирования применяют резистивные преобразователи тока. Предпочтения отдают коаксиальной конструкции шунтов, обладающих наиболее стабильными метрологическими характеристиками [1,2]. На динамические характеристики коаксиальных шунтов влияют свойства его собственного магнитного поля.

Целью работы является моделирование магнитного поля коаксиального шунта. Для построения модели использовался метод конечных элементов и программный комплекс ANSYS.

Объект исследований

Коаксиальный шунт представляет собой измерительный преобразователь тока, содержащий токовые и потенциальные выводы (рис. 1).

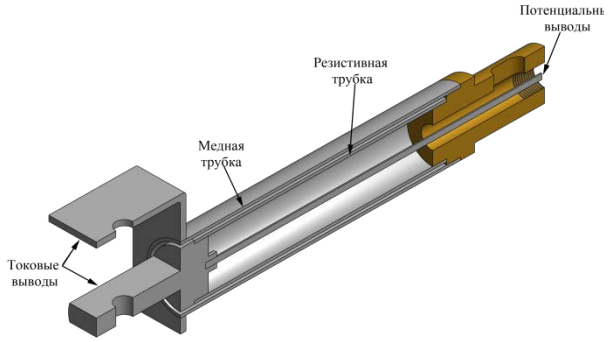


Рис. 1. Конструкция коаксиального шунта

Конструктивно шунт состоит из двух вложенных друг в друга цилиндров, по которым ток протекает в противоположных направлениях. Внутренний цилиндр изготавливают из резистивного материала с большим удельным сопротивлением, в данном случае – манганина. Внешний цилиндр, сделанный из меди, имеет меньшее удельное сопротивление.

Моделирование магнитного поля будет проводиться для коаксиального шунта со следующими параметрами: толщина резистивной трубки – 1 мм; длина – 90 мм; внутренний радиус – 9 мм; сопротивление – 750 мкОм; номинальный ток – 1 кА, воздушный зазор между цилиндрами – 1 мм [3].

Моделирование магнитного поля коаксиального шунта

Моделирование магнитного поля шунта в программном продукте ANSYS Workbench состоит из следующих этапов:

1) Выбор типа расчета задачи;
2) Построение геометрии;
3) Задание основных характеристик материалов, из которых изготовлен шунт;
4) Генерация сетки конечных элементов;
5) Определение граничных условий и нагрузок;
6) Расчет задачи и визуализация результатов.

Для построения модели используется тип расчета Magnetostatic. Данный модуль позволяет провести объемный анализ статического магнитного поля шунта, по которому протекает постоянный ток амплитудой 1кА.

Поскольку шунт обладает достаточно сложной конструкцией, которая требует высокой точности передачи геометрических размеров, оптимальным решением является построение геометрии в одной из CAD-программ. Геометрия шунта создается в программе Inventor 2011, после чего импортируется в ANSYS Workbench.

Материалы и их характеристики определяются в модуле Engineering Data. В модели используется четыре материала: медь, манганин, латунь и воздух. Для каждого из них задаются значения таких параметров, как удельное сопротивление и магнитная проницаемость.

Следующим шагом является генерация сетки конечных элементов. Сетка генерируется на геометрической модели и является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде. Сетка с установками по умолчанию автоматически генерируется при запуске решения. При расчете магнитного поля шунта использовалась сетка с количеством узлов, равным 103303, и 63598 конечными элементами.

Для задания граничных условий первоначально, на этапе создания геометрии шунта, необходимо ограничить расчетную область воздухом с помощью команды Enclosure в меню Tools. К поверхности ограничивающей сферы прикладываются граничные условия Magnetic Flux Parallel, при которых магнитные силовые линии параллельны границе.

При задании нагрузки – тока номинальным значением 1кА – необходимо прежде всего учитывать траекторию протекания тока. Ток прикладывается к токовому выводу, протекает по внутренней резистивной трубке и через заглушку переходит на внешний цилиндр. Таким образом,

ток проходит по трубкам в противоположных направлениях.

Для организации такой траектории на один из токовых выводов подается ток значением 1кА, а на другой – ток такой же амплитуды, но со знаком «минус». На противоположном конце шунта задается нулевой потенциал. На рис.2 показаны все нагрузки и граничные условия, приложенные для построения модели магнитного поля коаксиального шунта.

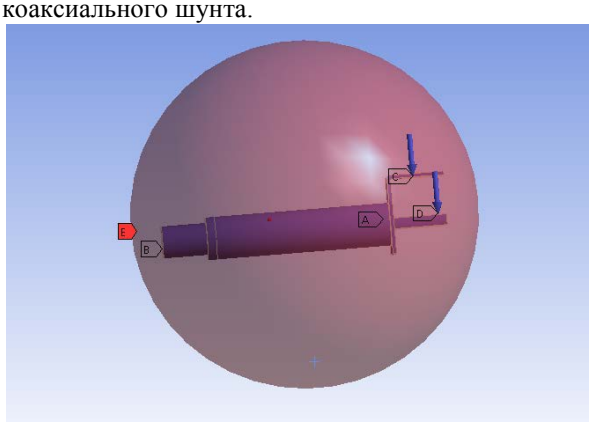


Рис. 2. Приложение нагрузок и магнитных условий

Для расчета задачи необходимо предварительно указать величины, подлежащие определению. Для моделирования магнитного поля коаксиального шунта в качестве такой величины выбирается магнитная индукция. Расчеты можно проводить как для всей области, так и для конкретных ее элементов либо отдельно взятых точек.

Полученное распределение магнитного поля коаксиального шунта представлено на рис.3 (продольный разрез шунта).

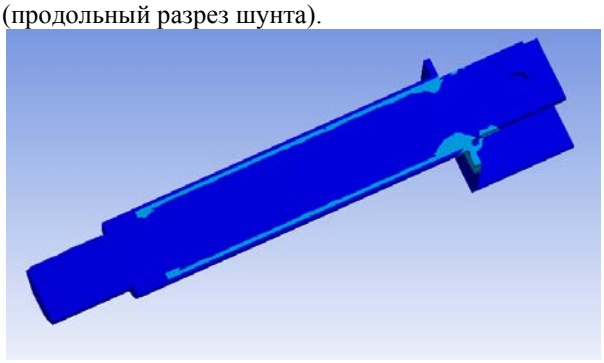


Рис.3. Распределение магнитного поля коаксиального шунта (продольный разрез)

Таким образом, магнитное поле шунта практически полностью сконцентрировано в воздушном зазоре между двумя трубками. Благодаря коаксиальной конструкции шунта паразитная индуктивность, возникающая за счет магнитного поля, не будет оказывать существенного влияния на значение выходного напряжения шунта, таким образом, сводя к минимуму возникающую погрешность.

Экспериментально полученное значение магнитной индукции в воздушном зазоре на расстоянии 10 мм от центра для модели, построенной в программе ANSYS, составляет 0,02 Т.

Магнитная индукция B для коаксиальной конструкции, состоящей из двух проводящих цилиндров, рассчитывается следующим образом:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r},$$

где μ – магнитная постоянная, Гн/м;

I – ток, протекающий по шунту, А;

r - радиус, на котором рассчитывается значение магнитной индукции, м.

В воздушном зазоре на радиусе r = 10 мм магнитная индукция составляет:

$$B = \frac{4\cdot\pi\cdot10^{-7}\cdot1000}{2\cdot\pi\cdot0{,}01} = 0{,}02\ T.$$

Экспериментальное и расчетное значение магнитной индукции совпадают, что говорит об адекватности полученной модели магнитного поля и позволяет сделать вывод о правильности полученных данных. Используя полученное значение магнитной индукции, становится возможным определение реальной паразитной индуктивности, и, следовательно, оценка погрешности шунта.

Заключение

Результаты проведенного моделирования показывают, что магнитное поле коаксиального шунта сосредоточено в воздушном зазоре между трубками. Внутри и снаружи трубок поле, создаваемое протекающим током, отсутствует, что позволяет уменьшить вклад, вносимый в суммарную погрешность паразитной индуктивностью шунта. Значение магнитной индукции в зазоре, полученное при моделировании, составляет 0,02 Т, что соответствует расчетному значению. Построенная модель магнитного поля позволит определить значение паразитной индуктивности коаксиального шунта.

Список литературы

1 Kawamura T., Haginomori E., Goda Y., Nakamoto T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – V. 2. – No. 5. – P. 516-522.

2 Векслер М.С., Теплинский А.М. Шунты переменного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.

3 Бедарева Е.В., Цимбалист Э.И., Муравьев С.В., Баранов П.Ф. Влияние способов подключения потенциальных выводов на динамические характеристики коаксиальных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4: Энергетика. – С. 154.

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛЬНОТОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА

Шестаков А.А.
Научный руководитель: Заревич А.И., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
anton.shestakov001@gmail.com

В рамках программы разработки сильноточных преобразователей тока, в частности токовых шунтов, стоит задача экспериментального определения их частотных характеристик. Традиционный метод проверки характеристик основан на использовании эталонного источника тока и эталонного измерителя напряжения. Но для токовых шунтов, рассчитанных на токи порядка десятков килоампер, этот метод является неприменимым, поскольку нет в наличии прецизионного источника тока с необходимыми характеристиками. Так как сильноточные шунты дают большое ослабление сигнала по мощности, при использовании генератора-калибратора тока, обеспечивающего с высокой точностью сигнал с амплитудой порядка 100 мА, выходной сигнал шунта будет очень малой величиной, неразличимой на фоне шумов. Другим способом проверки характеристик шунта является сравнение выходных сигналов исследуемого шунта и эталонного шунта. Однако при этом встает подобная проблема генерации стабильного сигнала порядка десятков килоампер.

Для решения поставленной задачи возможно применение импульсных методов [1], основанных на определении реакции объекта на импульсное входное воздействие. Получаемая импульсная характеристика, описывает динамические свойства объекта и позволяет определить амплитудно-частотную (АЧХ), фазо-частотную (ФЧХ) и переходную характеристики.

Импульсная характеристика является комплексной величиной, несущей информацию и об амплитуде, и о фазе.

В качестве входного воздействия был использован высокочастотный импульсный сигнал с генератора G, представляющий физическую реализацию дельта-функции. Выходной сигнал снимался с сигнальных выводов шунта. Сила тока в цепи измерялась с помощью трансформатора тока T, имеющего коэффициент передачи 0,1 В/А. Для наблюдения и регистрации формы сигнала использовался двухканальный цифровой осциллограф. Электрическая принципиальная схема эксперимента представлена на рис. 1.

Было использовано следующее оборудование:
- генератор Aktakom AWG 4110;
- осциллограф LeCroy WaveSurfer 62Xs;
- трансформатор тока Lilco 13W0100;
- шунт на 5 кА.

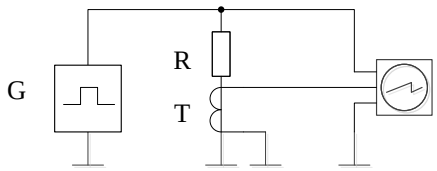


Рис.1 Принципиальная схема эксперимента

Параметры входного импульсного сигнала:
- частота – 100 кГц (период 10 мкс);
- амплитуда – 10 В;
- скважность – 10 (длительность импульса 1 мс).

Экспериментально измеренные сигналы на экране осциллографа представлены на рис. 2.

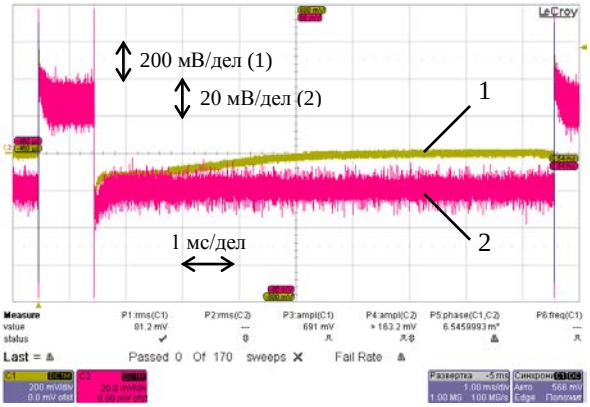


Рис. 2. Сигналы выхода трансформатора тока и выхода шунта, канал 1 – выход трансформатора, канал 2 – выход шунта

Из рис. 2 видно, что сигналы сильно зашумлены. Для уменьшения влияния случайных помех обычно применяется усреднение нескольких реализаций одного и того же сигнала. Однако в данном случае такой способ неприменим из-за нестабильности длительности импульсов и развертки осциллографа. Поэтому было применено усреднение по спектру.

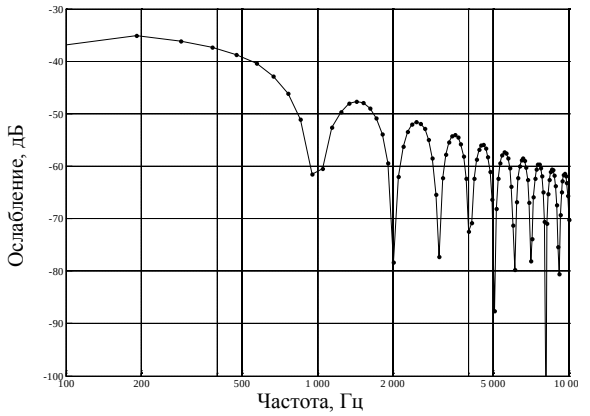
Исходя из предположения, что шумы и искажения измеряемых сигналов приводят к случайной погрешности определения спектральных компонент на конкретных частотах, для снижения уровня шумов и повышения точности расчета применялось усреднение реализаций сигналов по спектру.

С помощью осциллографа было зафиксировано 50 пар сигналов при одинаковых условиях, полученные данные подвергались цифровой обработке в пакете инженерных вычислений MATLAB. Из каждого сигнала был выделен один полный период, затем сигналы были дополнены последними значениями до числа выборок,

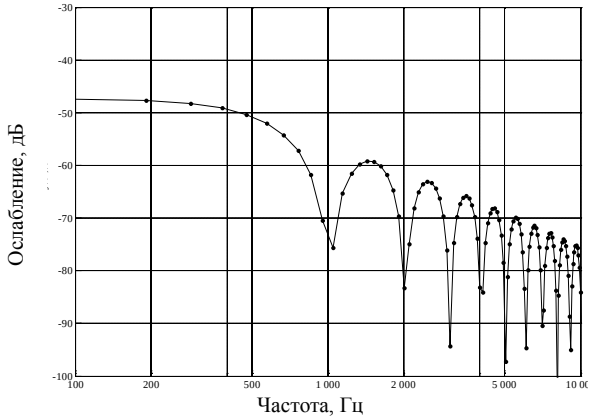
кратным степени 2. Спектральный анализ входного и выходного сигналов (для каждой реализации отдельно) был проведен с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье [1].

Результаты преобразований всех реализаций были усреднены по спектру. Затем был определен комплексный коэффициент передачи шунта как отношение спектра выходного сигнала шунта к спектру входного сигнала с трансформатора.

АЧХ и ФЧХ шунта были определены соответственно как модуль и аргумент комплексного коэффициента передачи. АЧХ шунта представлена на рис. 4.



а)



б)

Рис. 3. Амплитуда спектра сигнала трансформатора (а) и сигнала шунта (б)

Погрешность определения АЧХ коэффициента передачи шунта в зависимости от частоты [3] представлена на рис. 5.

По приведенным графикам можно сделать вывод, что представленный метод позволяет определить частотные характеристики токового шунта. График АЧХ представляет собой зависимость, близкую к линейной, на которой наблюдаются резкие выбросы. Частотный диапазон, в котором погрешность не превышает 2 %, ограничен 10 кГц. По характеру графиков спектров можно судить о том, что наибольшая погрешность соответствует точкам минимумов спектров. Это выявляет недостаточность частотного разрешения метода.

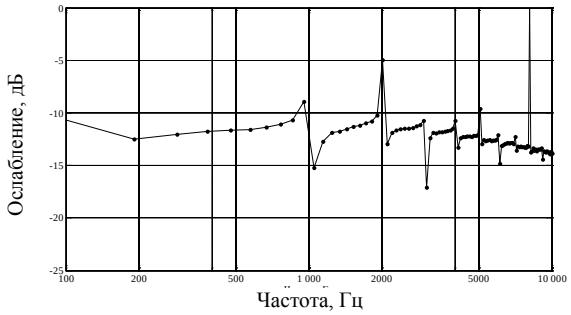


Рис. 4. АЧХ (а) и ФЧХ (б) коэффициента передачи шунта

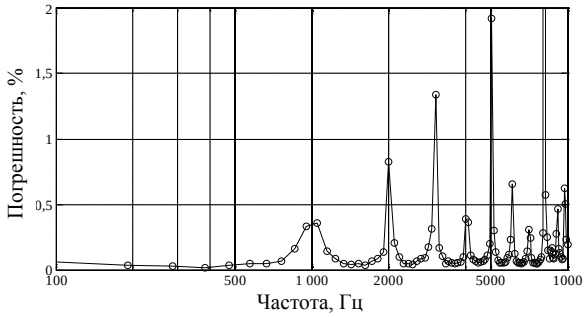


Рис. 4. Погрешность определения коэффициента передачи шунта

Отметим основные направления совершенствования метода:

- повышение частотного разрешения путем увеличения числа точек сигнала за счет интерполяции;
- приведение сигнала к аналитическому виду путем кусочно-непрерывной аппроксимации, что позволит применять преобразование Фурье в интегральной форме;
- повышение точности измерений сигналов, путем цифровой обработки данных с осциллографа с целью повышения разрешающей способности аналого-цифрового преобразования сигналов и шумоподавления.

К достоинствам представленного метода можно отнести удобство его использования, универсальность и сравнительно низкие требования к оборудованию.

Литература

1. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Величко О.Н. Цифровая обработка импульсных сигналов для определения частотных характеристик преобразователей тока // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 116–120.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки данных [пер. с англ.]. М: Мир, 1972. – 848 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных [пер. с англ.]. – М: Мир, 1989. – 540 с.

TWO-CIRCUIT ELLIPTIC FILTER

Bogomolov P.G.
Scientific supervisors: Razinkin V.P., Khrustalev V.A.
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russian, Novosibirsk pr. K.Marksa 20.
E-Mail: rk_6-41@mail.ru

This paper presents an elliptic bandpass filter made on the lumped oscillation circuits with partial inclusion loads and capacitive coupling element. It is shown that in the proposed filter by changing the switching on coefficient can be obtained by the rejection frequency setpoint in stopband, which provides increased the suppression of interfering spectral components.

Circuit schematic of the investigate of the elliptical filter second order is shown in Fig. 1. A distinctive feature of the filter is the same value inclusion for loads and connection element. For obtaining symmetrical shape of the amplitude-frequency characteristic (AFC) used partial of inductive inclusion of the first parallel contour and partial capacitance inclusion of a second parallel contour. Parallel contours with partial inclusion have the property of transform connected loads with a sufficiently large transformation ratio. This allows provide good physical realizability of reactive elements in the VHF and UHF band and due to high intrinsic quality factor to reduce the direct loss in the passband.

Analysis of the circuit in Fig. 1 shows that the inclusion of the coupling capacitor C_1 between the input and the filter output resulted in formation of the two successive contours L_2C_2 and L_3C_3. These series circuits included respectively at the inlet and outlet of the filter to cause the appearance of zeros coefficient of transmission at the following frequencies: $f_1 = 1/2\pi\sqrt{L_2C_2}$, $f_{-1} = 1/2\pi\sqrt{L_3C_3}$.

Here is indicated: f_1- upper frequency of zero transfer ratio of filter ($f_1 > f_{0k}$), f_{-1}-lower frequency of zero transfer ratio of filter ($f_{-1} < f_{0k}$), f_{0k}-resonance frequency contours. Analysis shows that the resonance frequency of the parallel contours with capacitively coupled in the narrow-band filters in a first approximation, determined by the relationship $f_{0k} \approx f_{0f} + \Delta f$, where Δf - filter pass band; f_{0f} - centre frequency of pass band

We assume that the oscillation circuit $L_1L_2C_2$ in the band of operating frequencies is equivalent to the parallel oscillating circuit, as shown in Fig. 2a. The equivalence condition in this case has the form:

$$\frac{\partial B_1}{\partial f} = \left.\frac{\partial B_{f1}}{\partial f}\right|_{f=f_{0k}}, \quad (1)$$

where B_1 - susceptance of contour $C_{1f}L_{1f}$; B_{f1}- susceptance of contour $L_1L_2C_2$.

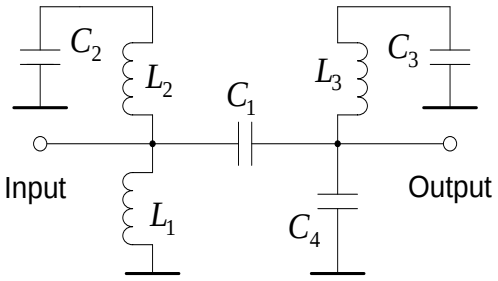


Fig.1 Narrowband two-circuit elliptic filter

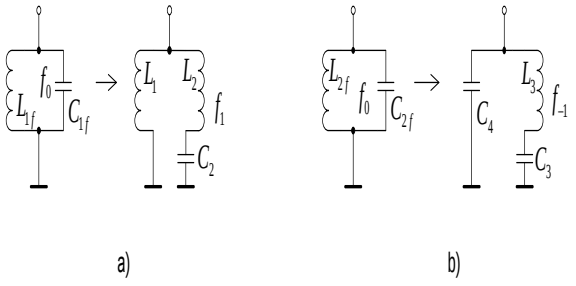


Fig. 2 Equivalent transformation parallel contours

From condition (1) received the following relations for calculating the elements of the first circuit (Fig. 1) with partial inductive switching:

$$L_1 = \frac{1}{2C_{f1}\left(2\pi f_{0k}\right)^2}\left[1+\left(1-\frac{f_{0k}^2}{f_1^2}\right)\left(\frac{f_1^2\left(f_1^2+f_{0k}^2\right)}{\left(f_{0k}^2-f_1^2\right)^2}\right)\right], \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{1}{\left(2\pi f_{0k}\right)^2 L_1}\left(1-\frac{f_{0k}^2}{f_1^2}\right), \qquad L_2 = \frac{1}{\left(2\pi f_1\right)^2 C_2}. \quad (3)$$

Coefficient of inclusion on contour $L_1L_2C_2$ for known values of the inductors L_1 and L_2 is:

$$p_L = \frac{L_1}{L_1 + L_2} = 1 - \left(\frac{f_{0k}}{f_1} \right)^2 . \quad (4)$$

We assume that the oscillation circuit $L_3C_3C_4$ in the band of operating frequencies is equivalent to the parallel oscillating circuit, as shown in Fig. 2b. The equivalence condition in this case has the form:

$$\frac{\partial B_2}{\partial f} = \frac{\partial B_{f_{-1}}}{\partial f}\Bigg|_{f=f_{0k}}, \quad (5)$$

where B_2 - susceptance of contour $C_{2f}L_{2f}$; $B_{f_{-1}}$ - susceptance of contour $L_3L_3C_4$.

From condition (5) received the following relations for calculating the elements of the second circuit with partial capacitive inclusion:

$$C_4 = \frac{2C_{f2}}{1 + \left(\frac{f_{0k}^2}{f_{-1}^2} - 1 \right) \cdot \left[\frac{f_{-1}^2 \left(f_{-1}^2 + f_{0k}^2 \right)}{\left(f_{-1}^2 - f_{0k}^2 \right)^2} \right]}, \quad (6)$$

$$C_3 = C_4 \left(\frac{f_{0k}^2}{f_{-1}^2} - 1 \right), \quad L_3 = \frac{1}{\left(2\pi f_1 \right)^2 C_3} . \quad (7)$$

Coefficient of inclusion on contour $L_3C_3C_4$ for known values of the capacitance C_3 and C_4 is:

$$p_C = \frac{C_3}{C_3 + C_4} = 1 - \left(\frac{f_{-1}}{f_{0k}} \right)^2 . \quad (8)$$

Consideration of expressions (2) and (4) that the values of the coefficient of inclusion loads of the filter (p_L, p_C) uniquely determine the values of the frequency zeros of transfer ratio f_1 and f_{-1}. Results of calculation of AFC shown in Fig. 3.

As seen from the graphs of Fig. 3, the shape of AFC (line 1) corresponds to an elliptic filter, which significantly increases the selective properties. On Fig. 3 also shows a comparison AFC (line 2) classical two-circuit of filter with external capacitively coupled.

By selecting different values p_L and p_C can set the desired values frequency rejection and effectively suppress the out-of-band spectral components, which arise due to the nonlinear distortion in radio channels of the measuring equipment. We note that when approaching frequency rejection to passband will be increase the direct loss of the filter.

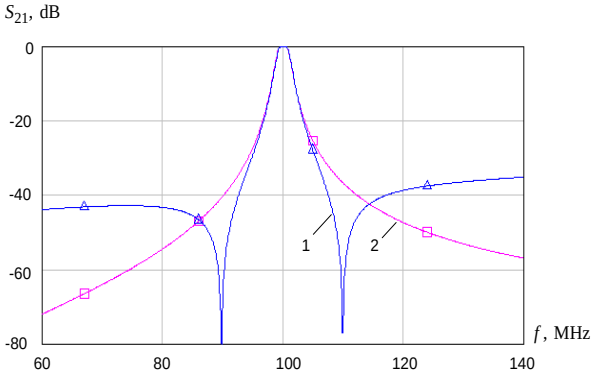


Fig.1 ACF of the two-circuit elliptic filter.

Conclusion. Using the identical coefficient of inclusion for loads and coupling element allows to obtain in the two-circuit bandpass filter AFC, corresponding elliptic filter. The zeros of transfer ratio of filter can be set at any predetermined frequency in stopband filter by selecting appropriate values for the coefficients inclusions.

Bibliography:

1. Razinkin V.P., Udalov V.N., Matveyev D.S. Narrowband filter. Patent for the invention of the Russian Federation № 2414024. Publ. 10.03.2011 BI №7.

2. Abrosimov A.A., Razinkin V.P. Elliptic filters on the lumped elements. Reports of TUSUR, № 2, Part 2, 2012. Pp. 29-31.

3. Electromagnetic simulation film resistor / M. G. Rubanovich, N. V. Aleksandrov, V. Z. Manusov, V. A. Khrustalev // Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics. - 2013. - № 3 (29). - Pp. 63-68.

4. BelyayevB.A. / Frequency-dependent coefficients of microstrip resonators B.A. Belyayev, V.V. Tyurnev // Electronic engineering. Ser. Microwave equipment. - 1992. - Issue. 4 (422). - Pp. 23-27.

5. Razinkin V.P. Broadband amplitude-frequency correction / V.P. Razinkin, V.A. Khrustalev, M.G. Rubanovich, Y.V. Vostryakov, F.F. Abrosimov // Radioindustry № 1, 2012. Pp. 31-41.

6. Razinkin V.P. Phase-Shift Keying Device Based On Tunable Filter / V.P. Razinkin, A.A. Abrosimov // Intern. Siberian Workshops on Electron Devices and Materials EDM 20011 10th Annnual, Erlagol, Altai, Russia, 2011. Novosibirsk: NSTU – Pp. 186 – 188.

FIBER OPTIC CURRENT SENSOR

Grigoriev M., Turushev N.
Scientific advisor: D. Avdeeva, Prof., Dr.
Lingvistic advisor: O. Troitsky, Prof., Dr.
National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin av., Tomsk, 634050, Russia.
E-mail: Mishatpu@sibmail.com

Energy efficiency is one of the main directions of engineering development. This produced the great interest to the precision methods and instruments to measure the basic parameters of electrical generating, transmission and distribution devices.

One such parameter is the value of the electric current flowing through the device. The main drawback of the currently used measurement systems is the current characteristics of the primary transmitters (high voltage transformers). They require time-consuming routine maintenance, their accuracy depends on the burden and has a tendency to additional error accumulation. Also for the analysis of signals from primary converters we use meters, indications of which are strongly dependent on the quality of electricity. As a replacement for the primary device, you can consider sensors based on the Hall's effect, which allows to measure DC and have greater accuracy than current transformers. But the general drawback of instrument transformers and Hall sensors is the presence of saturation effect, greatly limiting the range of measured currents.

Today, thanks to the development of fiber optic technology optic current meters appeared recently. They unite many of the advantages of measuring transformers and sensors based on the Hall's effect without drawbacks so characteristic of them.

FOCS is the optimal solution to the most problems that arise when measuring a current. They provide precise measurements over a wide range of measured currents, allow signal processing in real time, ensuring accuracy, repeatability and high accuracy regardless of the signal being analyzed. FOCS provides electromagnetic compatibility with high voltage equipment, and do not require the use of signal analyzers for measuring sensor, as it directly provides information on the measured current. Moreover, they have no problems with the installation and subsequent operation of the sensors which are so typical for Russia.

Structurally FOCS consists of two parts: a sensor and a processing unit. The sensing element is a fiber cable not thicker than 10 mm, which is controlled by a locking ring surrounding the conductor. At the same time for some modifications of the sensor there is no need to break up and shut - controlled conductor, which is a significant advantage FOCS. Sensors measure the current in the conductor, which covers the ring, wherein the measurement results do not depend on the other current-carrying conductors and external magnetic fields. Also, the sensor does not depend on the relative position of the ring and conductor. Processing unit and the sensing element are connected by optical cable. Sensor and optic communication line does not contain conductive parts, and also provides explosion and radiation resistance. It should also be noted that the sensor requires no regular maintenance.

Fiber Optic Sensors have lately found more applications due to their high precision, large dynamic range, electrical insulation, miniature, immunity to electromagnetic interference, high-speed operation, the possibility to transmit information over long distances [1, 2]. Gradually, fiber-optic sensors are replacing sensors with mechanical and electrical conversion of the measured parameter to the information signal. They are used for measuring the current magnetic field, displacement, temperature, pressure, acoustic vibration, etc.

Fiber-optic current sensors designing are designed based on the Faraday's effect. Faraday's effect is a magneto-optical effect, when a linearly polarized light going through an optically inactive substance in a magnetic field, produces a rotation of the plane of the polarized light (Fig. 1).

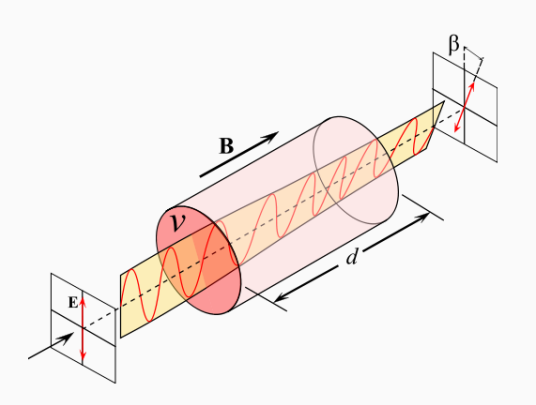


Fig. 1. Rotation of the light polarization plane due to the Faraday's effect

The Faraday's effect is used in a fiber-optic current sensors [3], because there is a large number of glass optical fibers in which it is sufficiently pronounced [4]. These optical elements have a large Verde constant V (physical quantity that characterizes the magnetic rotation of the plane of polarization in the material), which connects the value of the integral of the magnetic field H, taken across the length of the optical path L, and the angle of the plane of linearly polarized light $\Delta\Phi$, transmitted through the optical circuit:

$$\Delta\Phi = V\int_0^L \boldsymbol{H} \times d\boldsymbol{l}$$

This angle ΔΦ is also equivalent to nonreciprocal phase shift of a circularly polarized wave transmitted through a fiber loop. For the right circular wave ΔΦ is positive, for the left circular wave it is negative. The simplest FOCS using the Faraday's effect is a polarimetric sensor (Fig. 2). It the current in a conductor is associated with rotation of the plane of polarization of light passing a closed loop through which current-carrying conductor is passed.

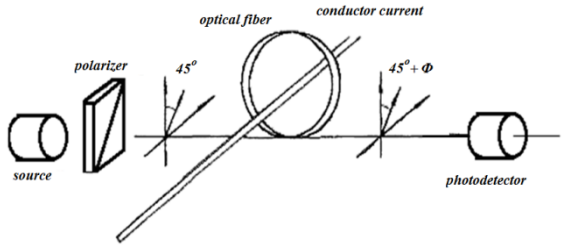


Fig. 2. Simplest configuration of polarimetric FOSC

Linearly polarized source light wave after the polarizer is directed into the optical fiber, covering a conductor carrying an electric current with the power I. The sensor can use as a standard singlemode optical high quality fiber and special types of fibers. The number of optical fiber revolutions around the conductor *N* depends on the range of measured currents. Passing through the contour wave of polarization rotates on the ΔΦ angle, which is a consequence of the induced magnetic field of circular birefringence. Linear polarization can thus be regarded as a superposition of waves with circular polarization in opposite directions of rotation. Each of them is directed to a separate photodetector. Thus, the measured light intensity Int_1 and Int_2 with relatively small losses in the system depends on ΔΦ as (Int_0 - intensity of the input light):

$$Int_1 = Int_0 cos^2(45^0 + \Delta\Phi)$$

$$Int_2 = Int_0 sin^2(45^0 + \Delta\Phi)$$

Due to the fact that the fiber loop is closed, the angle ΔΦ is equal to:

$$\Delta\Phi = VNI$$

This equation is true for single-mode optical fiber with the approximation that the Verde constants for core and cladding differ slightly, otherwise the angle ΔΦ depends on these constants and refractive indices of the core and cladding [5].

For signal ΔΦ irrespective Int_0 intensity is not stable in time, the output signal S is calculated as the ratio:

$$S = \frac{Int_1 - Int_2}{Int_1 + Int_2} = \sin(2 \cdot \Delta\Phi)$$

During the measurement the current, created in the installation, had step-in changing available for the power supply range, and layout information from the current meter and ammeter (±0,01% ±7 е.м.р) was recorded on a personal computer at 50 Hz. The test results of the current meter layout are shown in Fig. 3.

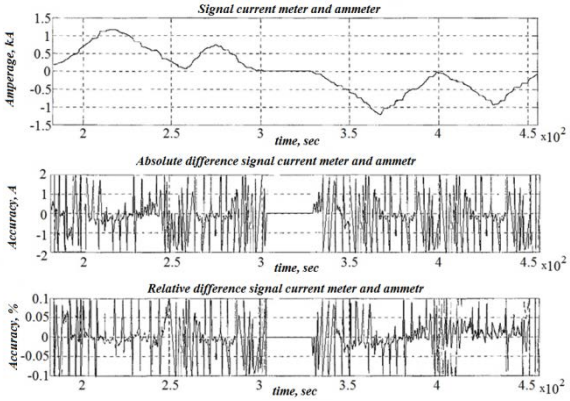


Fig. 3. Test results of a brassboard current meter

For a rough estimation of the error we considered layout, in which current was constant, and it was shown that in the studied range (from -1.2 to +1.2 kA), the absolute accuracy did not exceed 2 A, and the relative accuracy was less than 0.1%.

Thus, the created brassboard allows to demonstrate the meter, built by the author proposed configuration and using created and investigated components. The proposed method minimize the impact of magnetic fields on the measurement.

Reference

1. A. N. Sokolov, V. O. Yaceev Volokonno – opticheskie datchiki i sistemy : principy postroeniya, Волоконно -оптические датчики и системы: принципы построения, vozmozhnosti i perspektivy // Lightwave. Russian Edition. - 2006. - №4. C. 44 - 46.

2. YU.V. Gulyayev, S.A. Nikitov, V.T. Potapov, YU.K. Chamorovskiy Volokonno-opticheskiye tekhnologii, ustroystva, datchiki i sistemy // Spetsvypusk ≪Foton-ekspress≫. - M.: Nauka, 2005. -№6. C. 114 - 127.

3. E. A. Nekrashevich, N. B. Starostin Volokonno-opticheskiye datchiki toka // Elektronnyye komponenty. – 2006. - №11. C. 76 - 77.

4. I. K Meshkovskiy., V. Ye. Strigalev, S. A. Tarakanov. Zakrytaya skhema obrabotki signala v volokonno-opticheskom datchike toka // Nauchno - tekhnicheskiy vestnik SPbGU ITMO №65. – SPb.: SPbGU ITMO, 2010. C. 10 - 15.

5. M. Takahashi, K. Sasaki, K. Terai Optical current sensor tor DC measurement // Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE, 2002. vol.1. PP. 440 - 443.

SYSTEM OF VISUAL INDICATIONS OF THE HORIZON LINE

Kuznetsova E.Y., Filippov G.A.
Scientific advisor: Borikov V.N., Prof., Chudinova A. I., Senior Lecturer
Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Russia, Lenin Avenue, 30
E-mail: eyk@tpu.ru

Cameras become more affordable nowadays and the problem of improving the quality of images is becoming more common. The most visible defect of images in which non-parallelity of the horizon line on the monitor observed is called blockage.

To improve the quality of pictures photographers use bubble method (level) but there is no damping of the bubble. So, the convenience of this method is worse.

In this connection, it is actual to raise the question of creating device comfortable for perception and able to measure the corner of rejection of photo camera from the level of horizon and destroy information about rejection. It is also necessary to provide:

-measurement of the deviation from horizon line with specified precision;

-weight and size characteristics;

-possibility of continuous operation without battery replacement.

To solve the task, you should define the method of building the plane. One of the simplest one is pendulum method. The operating principle of devices is based on this method: the Earth's attraction (gravity) acts on the inertial mass, under the influence of these forces the pendulum is set to the line connecting the Centre of mass of the pendulum and the suspension will be aimed vertically. The example of similar device is a cord plumb consisting of thin filament and the load on its end. It is possible to judge about correctly vertical position according to the regulations of the load.

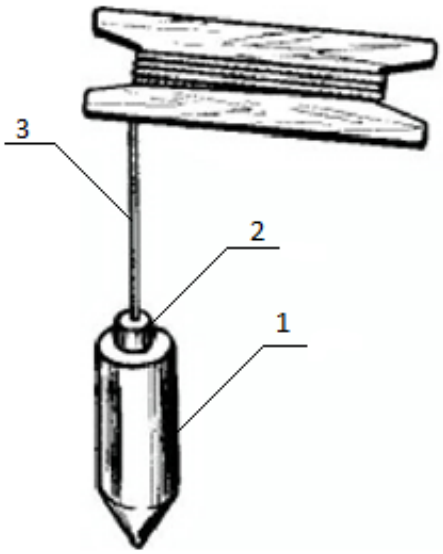


Figure 1. String Plumb
1- cylinder with a taper at the end; 2 - threaded hole with screw; 3 - cord.

If you limit the degree of freedom for such a plumb and use a corner bar, you can get a device that registers the object from the vertical deviation (Figure 2).

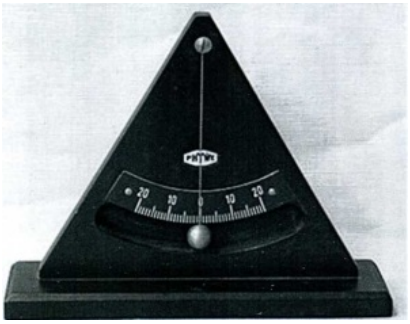


Figure. 2. Measuring the level of the liquid levels

There are also liquid levels. The main elements of this device are measuring flasks (eye level) with their Corps of risk (Figure 3).

Figure 3. Liquid level

It is complicated to get accurate and reliable information on these devices. Therefore, they are not widely spread in automatic devices.

There is also another way to determine the level of the horizon with the accelerometer. This method of measurement is the fact that there are only accelerations that influence the motionless body: gravitational acceleration and the acceleration due to Earth's rotation. The line that coincides with the direction of the vector sum of these accelerations is vertical and the plane perpendicular to that line is the plane of the horizon. The device to measure the acceleration is the accelerometer.

Accelerometers can be divided into 4 groups:

1. Linear accelerometer;
2. Pendulum accelerometer;
3. Axis accelerometer;
4. Micro-mechanical accelerometer.

The advantages of mechanical accelerometers of all the three types are:

-high precision of measurement;

-sampling device;

-possibility to adjust the damping factor;

The disadvantages of mechanical accelerometers of all the three types are:

-weight and size characteristics;
-high power consumption;
-high cost.

IMEMS accelerometer was made according to MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) technology that allows you to combine micro-electromechanical devices with traditional electronic elements of integrated circuits on a single chip.

From the range of sensors available on the market one axis accelerometer Analog Devices ADXL103CE was chosen.

The structural scheme of the device is shown In Figure 5. The signal from the sensor (AC), proportional to the projection of the accelerometer sensitive axis acceleration comes to analog-to-digital converter of the microcontroller. Microcontroller (MC) processes the signal and passes the data to the led display unit (LD)

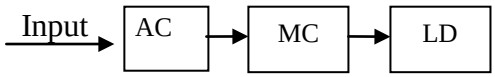


Figure 5. Block diagram of the device

Microcontroller Atmega8 was chosen as an information-processing device. The display consists of 9 high-brightness light-emitting diodes to limit the current flowing through the LEDs; 9 resistors are used; the primary sensor is the accelerometer mounted in accordance to the rules of technical documentation. Capacitors are applied to filter noise. The fundamental chart of the device is shown in Figure 6.

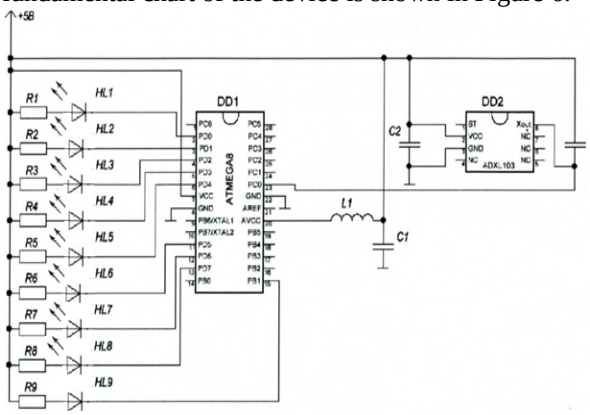


Figure. 6. Fundamental chart of the device

Single sided printed circuit board without plated through holes where the system of visual indication implemented has the accuracy class 2. Conductive layer on it was created using chemical method. Pattern printed circuit board caused the photographic method. The device layout to the horizon line was made in accordance to the electrical concept (Figure 7).

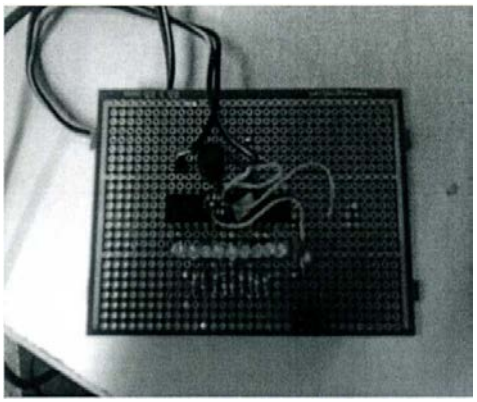


Figure 7. Device layout

To define the characteristics of the device optical-quadrant KO-6O was used (Figure 8).

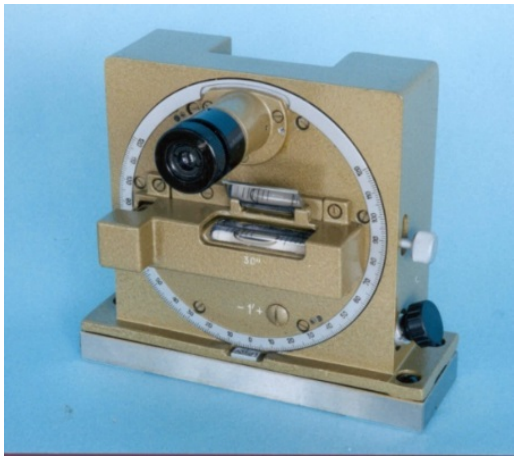


Figure 8. Optical-quadrant KO-6O

The layout of the device was fixed on the rotating part of the quadrant. The characteristics of the manufactured devices were received by the serial passage control angles (table 1).

Table 1. Characteristics of devices

№ diode	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Angle at which the lights up diode,°	-30	-20	-15	-3	0	3	15	20	30

In the result of the work done, we developed the device with the following advantages:

1. Low cost;
2. High degree of integration;
3. High degree of manufacturability;
4. Low power consumption.

THE EFFECT OF INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM ON THE PRODUCTION QUALITY

Nechaev K.A.
Scientific advisor: prof. O.V. Stukach
Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Str, Tomsk, 634050, Russia
E-mail: akadelpher@gmail.com

Introduction

MES (Manufacturing Execution System) is a compilation of integrated hardware and software solutions, designed for statistics collection, control and operational planning on manufacturing enterprises [1]. Successful implementation and embedding such a system results in increased production volume, reduced product cost and improved production quality.

At present it is clear that industrial enterprise information system is not optional tool, it is necessary for effective management. Embedding of the information system is very important problem due following: about 80 % of all adverse circumstances have informational basis, and fight against them can only be effective when using comprehensive system of enterprise management [2]. When information system is embedded, you can gain following advantages:

- Increased volume of production;
- Reduced production cost;
- Improved quality of product.

Keep in mind that only embedding MES in itself does not magically improve your production on every level; improvement depends on many factors, and the main factor is information system quality. Architecture defects, bad-quality specification, wrongly organized development cycle – all of it will have its influence on MES quality as well as on entire enterprise. It can even lead to situation when information system embedding just deteriorates production.

Selecting of MES architecture

Usually, the requirements to information system architecture (without binding to any specific area) are the following:

- It should be flexible, loose-coupled and capable of adapt to the different technologies;
- Developers should use modern technologies for increasing system lifetime;
- Architecture must not be bound to any specific security system;
- Modularity is required for reducing number of dependencies between parts of the system.

Wrong choice can lead to situation when scaling and even support of the system become impossible. Then you will either develop new system again or deal with reduced functional. The both imply raised expenses and failed objectives.

The most suitable choice is service-oriented architecture (Fig. 1) [3]. This approach is based on using disturbed, loose-coupled components, equipped with interfaces for interaction [4]. MES designed by this architecture allow simply reduce number of dependencies in production system. Furthermore, such architecture of information system meets modularity requirement, and every module is either service provider or consumer.

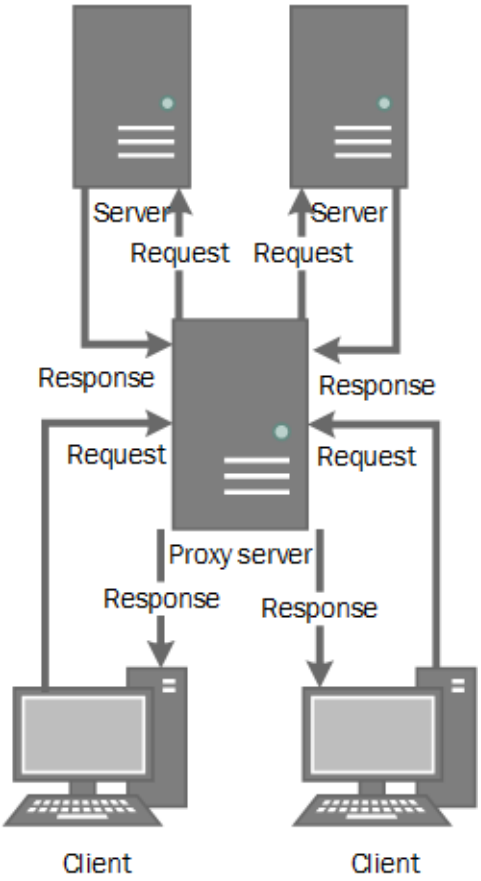


Fig. 1 – Service-oriented architecture

Information system testing

Quality of code is the next important factor defined quality of MES. At first, system must operate correctly under all conditions, provided in specification. Secondly, if user made a mistake, system should report about that without terminating module or the whole system.

Testing process should be automated because of manual testing can become tedious due to large variety of interfaces. Generally, developers use automated unit tests as the main testing method. Unit test is a function, which calls methods of some module or system core. Each test is designed to check if particular function or module behaves as expected. Wherein, developers can guarantee a few amounts of

bugs in tested methods only due to existence of those tests. It is essential to run tests after every development step to see if any new bugs appeared.

Automated unit tests can drastically reduce development time on account of reduced testing time and possibility of early errors detection.

Early errors detection is a key factor in design of the information system. The earlier bug is found the less cost will be of that bug. Thus, code update on the last stage of development cycle will be 10 times more expensive than in the coding phase [5].

When testing, developer has to cover in tests all methods which receive user data. He must sure that such methods are filtered of data, check of types etc. In other words, methods should validate the data. After processing, methods should return adequate response.

In case of force majeure, information system must try to save user data and send crash report to developers. Crash reports are very important when system engineers try to figure out why crash happened. So developers should test logging functionality too, and very carefully. Such testing attitude can help eliminate the causes of crash.

If developer does not pay much attention to testing, system may distort or delete important data, and company will lose money.

Interface of information system

Unfortunately, MES developers don't really think that user-friendly interface is important part of system. So, clients have to spend time and money to teaching personnel how to work with system, and that education process can take a very long period. As personnel usually learns in working time, production volume decreases. If people learn after work, they become exhausted and soon start to make mistakes.

Even after embedding process, bad interface has its influence on quantity and quality of production: if user has to spend a great deal of time just to launch module or understand a system message, he will not be able to concentrate on his business.

Thus, interface of information system plays an important role in both processes: embedding and using.

Information exchange at different levels of the device life cycle

The most important factor which allows increasing production quantity is information exchange implementation between company divisions that produce components of varying degrees of integration: elemental base unit, the module unit, and device installation. Wherein, life cycle can be implemented in a single enterprise (full cycle) and on a number of partner companies (supply chain).

Examples of information, transferred "from bottom to top", are: modes and manufacturing conditions of each specific component, yield rate in a batch, results of various tests, etc. "From top to bottom" can be transferred: storage conditions of obtained components, installation time in the next level component, failure statistics of obtained components, etc.

Effective organization of information exchange between supply chain participants allows implementing comprehensive approach to solving production quality problems and improving quality continuously.

Conclusion

Quality of the information system is determined by many factors, such as system architecture, code quality (of architecture and system modules), code coverage, interface usability, etc. All of this eventually affect the whole enterprise and quality of its products.

If MES is properly designed, embedded and operated, it can reduce production time, reduce human factor influence, increase employee's quality of work and, of course, can be used as a tool to solve production quality problems.

Notice that improvements will not be seen right after embedding [2]. They will appear gradually, after a certain period after starting.

Duration of that period depends on production type, system quality and the willingness of the company and its leaders to such transformations.

Anyway, it will hardly be less than one year, but properly designed manufacturing execution system will pay for investments and bring a positive economic effect.

References

1. Architecture of automated system [electronic resource]. – Access mode: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_0.aspx

2. Korablev, A.V. Economic benefits from the implementation of the integrated enterprise management information system [electronic resource] / A.V. Korablev. – Access mode: http://www.r-p-c.ru/sites/default/files/artical_org_kis.pdf

3. Matveev V.V., Nechaev K.A., Zykov D.D. Approach to developing manufacturing execution system // Volga Scientific Bulletin. – 2012. – N 10. – P. 12–17.

4. K.A. Nechaev. Development of Manufacturing Execution System Service Oriented Software Architecture / K.A. Nechaev, V.V. Matveev, D.D. Zykov // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON).

5. McConnell S. Code Complete: A Practical Handbook of Software Construction, Second Edition / S. McConnell – Microsoft Press, 2004. – 960 p.

THE MODIFIED DUAL-BAND PRINTED QUASI-YAGI ANTENNA

Tarasenko N.V.
Research adviser: Gorbachev A.P., Doctor of Sc., professor
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20, Prospekt K. Marksa
E-mail: natashasunbeam@gmail.com

ABSTRACT. There is the new modified dual-band printed quasi-Yagi antenna presented in the article. The antenna works in two non-adjacent bands, and its topology could be changed by p-i-n-diodes commutation.

Keywords – quasi-Yagi antenna, printed implementation, dual-band antenna, microstrip feed.

I. INTRODUCTION. It is well known that Yagi antennas are linearly polarized radiators of electromagnetic energy which are used in communication systems for various purposes [1, 2]. Thus the operating mode of radiating modules when one balancing unit feeds two/some dipoles which work at different frequencies is even more often used two/multifrequency. In view of a current tendency to miniaturization of radio systems structural components, dimension and weight characteristics of antennas, and also their cost are important. Besides, antennas have to meet the case of complex modification of its topology for the performance specification. The developed modified dual-band printed quasi-Yagi antenna meets all above-mentioned cases. This antenna corresponds one substrate which includes two dipoles which work at essentially different frequencies (up to 30%) and only one balancing unit suitable for both bands.

II. PROBLEM DEFINITION. As a prototype of the described antenna the printing structure offered in [3] was used. The prototype makes it possible to place both dipoles, and also balancing unit within one substrate. Necessity of modification of such structure is caused by wide application of reconfiguration (change in conductive pattern topology) the basic printed version by p-i-n-diodes commutation [4]. The quasi-Yagi antenna will allow raising extent of its adaptation to difficult matching sites on object of installation and variety of requirements of the performance specification.

The describable antenna (Fig. 1) contains a thin rectangular dielectric substrate (the Russian standard dielectric FAF-4 which is characterized by relative capacitivity ε_r = 2.5) with the front and back surfaces having parallel to each other emitting and non-emitting sides. The thickness of the substrate s = 1.5 mm. The dual-band antenna contains two dipoles which work at different frequencies and have lengths L_1, L_2 and widths w_1, w_2 respectively. The distance between dipoles is s_1. There is a part of topology includes printed "dovetail via-hole balun"-shaped pedestal and short-circuited through the plated hole (PH) ancillary strip line.

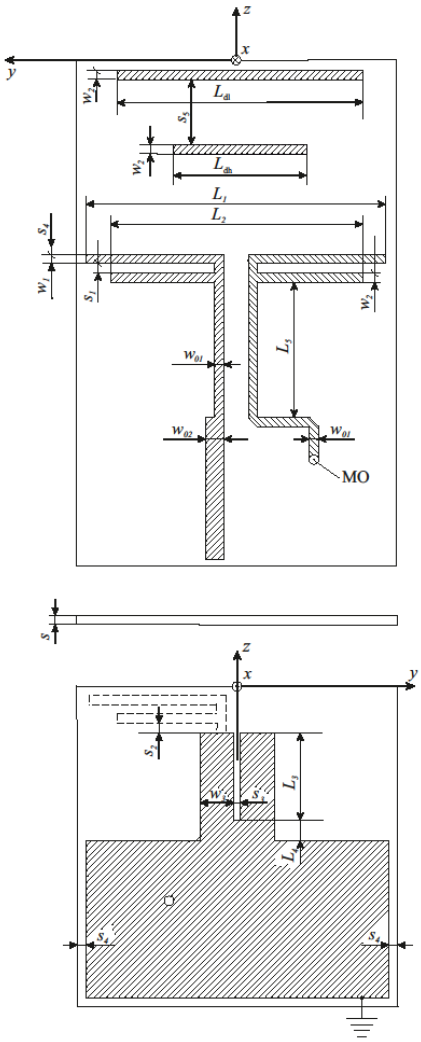


Fig. 1. Topology of the modified dual-band printed quasi-Yagi antenna.

The "dovetail via-hole balun" is a segment of two intercoupled lines which have length L_3, width w_3 and the distance between them is s_3. These intercoupled lines are joined with rectangular conductor strip $L_4 \times (2w_3 + s_3)$ which is a prolongation of grounded strip. The working margins are s_4 = 0.5 mm. There are high-frequency L_h and low-frequency L_l directors situated on the emitting side. Feeding strip line w_{02} is joined with central pin of coaxial-to-strip adapter (does not shown in Fig.1)

III. ANALYSIS, CALCULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION. Before design of the antenna it is necessary to take into account the following restrictions. Firstly input impedance gain-frequency characteristic of dual-band dipole differ

markedly from the same characteristic of solitary dipole at both resonance range and outside this range. Secondly law of variation of conduction currents features considerably complicate algorithm of calculus derivation based on the induced electromotive forces method due to high-frequency currents on the low-frequency director L_1. Such currents are induced due to high-frequency dipole work and have a high density which could not be negligible. Thus the modified dual-band printed quasi-Yagi antenna was calculated by repeated usage of the conjugate-gradient method parametric optimization and the special computer program.

The modified dual-band quasi-Yagi antenna (Fig. 1) was designed at the central frequencies f_{01} = 2.36 GHz and f_{02} = 2.93 GHz and has the following measurements (mm):

$L_1 = 54;$ $L_5 = 20;$ $w_2 = 1{,}8;$ $s_2 = 0{,}8;$
$L_2 = 44;$ $w_{01} = 2{,}3;$ $w_3 = 4{,}7;$ $s_3 = 1{,}1;$
$L_3 = 16;$ $w_{02} = 2{,}6;$ $s = 1{,}5;$ $s_4 = 0{,}5;$
$L_4 = 2;$ $w_1 = 2;$ $s_1 = 1{,}5;$ $s_5 = 11{,}8;$
$L_{dl} = 132;$ $L_{dh} = 96.$

The standing-wave ratio of the antenna is $K_{st.U} \leq$ 1,5 in the range of frequency bands 2.32…2.40 GHz and 2.87…2.98 GHz. The figures below show the simulated results of the antenna. There are polar E-plane and H-plane radiation pattern (firm line) and cross-polarization pattern (dashed line) at low-frequency band shown in Fig. 2.

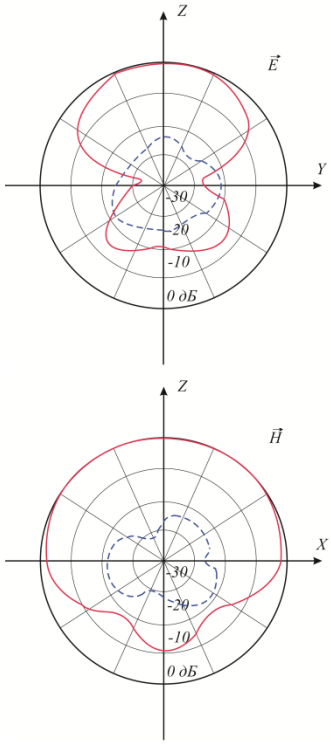


Fig.2. Polar H-plane and E-plane radiation and cross-polarization patterns at low-frequency band.

There are polar E-plane and H-plane radiation pattern (firm line) and cross-polarization pattern (dashed line) at high-frequency band shown in Fig. 3.

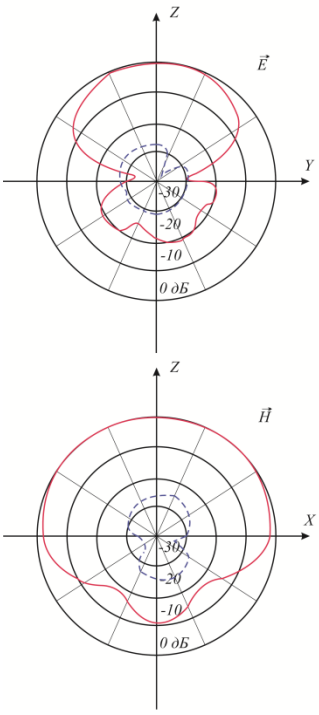


Fig. 3. Polar H-plane and E-plane radiation and cross-polarization patterns at high-frequency band.

IV. CONCLUSION. The modified dual-band printed quasi-Yagi antenna was designed at the central frequencies at f_{01} = 2.36 GHz and f_{02} = 2.93 GHz. Presented modified antenna is completely compatible with microstrip circuitry and may found widely application in wireless communication systems due to its special topology with a plated hole and performance capability to change the basic printed version by p-i-n-diodes commutation .

REFERENCES.

[1] Model A.M. Analysis of Yagi antennas // Radio Engineering 1954. V. 9. № 5. pp. 55-62.
[2] Microwave devices and antennas. Designing of phased array / Edited by. D.I. Voskresensky. M.: Radio Engineering. 2003. (in Russian).
[3] Patent RF № 2 351 043, H 01 Q 1/38, 2011
[4] Qin P.-Y., Weily A.R., Guo Y.J., Bird T.S., and Liang C.-H. Frequency reconfigurable quasi-Yagi folded dipole antenna// IEEE Trans. – 2010. – V. AP-58. - № 8. - P. 2742-2747.

ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

Ju Yangyang
Scientific adviser: A. Soldatov
Linguistic advisor: T. Mylnikova
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 1374586947@qq.com

Ultrasonic distance measurement is a very effective non-contact method of measurement. It has been widely applied in navigation, probing, engineering design, construction and other fields due to its precise, fast, stable and easy operating characteristics.

Therefore, in-depth study of the ultrasonic distance measurement method is of practical significance. In order to further improve the precision of the ultrasonic distance measurement, the research focuses on the type of the ultrasonic distance measurement device based on temperature compensation of the microcontroller.

The ultrasound is a sound with the frequency greater than the upper limit of human hearing, this limit being approximately 20.000 Hz. The ultrasound is widely applied to measure distance and ultrasonic cleaning because of the ultrasound characteristics such as short wavelength, high frequency, strong penetrability, cavitation and atomization effect, and so on. It is obviously efficient in medical, military, industrial industry and agriculture.

Since the ultrasound directivity is strong, energy consumption is slow and the propagation characteristics in the medium are high, the ultrasound can be used for distance measurement.

The basic theory of the distance survey measurement is the following. To measure the distance we use the principle of reflection. The ultrasonic transducer is on one side of the distance under measurement, and the object, which can reflect the ultrasonic object, is on the other side.

When measuring the distance, timing starts when the reflector emits the ultrasonic wave.

It is reflected back after it reaches the obstacles, and after the sensor receives the reflected pulse to immediately stop timing. The distance can be calculated as:

$$D = \frac{1}{2}ct,$$

where c is the ultrasonic velocity;

$\frac{1}{2}t$ is the half time period of one-way transmission.

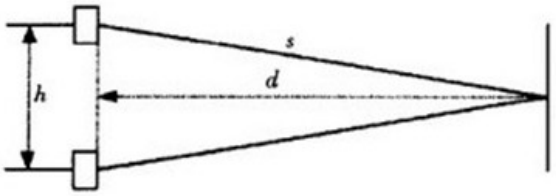


Fig. 1. Illustration of reflection principle

Basic elements of the ultrasonic distance measurement ware given in the following structure.

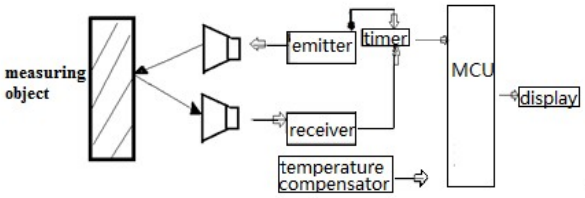


Fig. 2. Measurement scheme

The temperature compensator is used in the ultrasonic distance measuring system to make it more precise than before and increase the function of the result broadcasting.

The ultrasonic rang finder includes a hardware circuit and software design.

The entire hardware circuit is composed of an ultrasonic transmitter circuit, ultrasonic receiver circuit, power circuit, display circuit, and other modules. The temperature compensation adjustment is used in data processing, with four LED nixie tubes displaying distance or temperature by switching. Using this device, the precision of the ultrasonic distance measuring system has been improved.

The system includes the ATMGA16 single chip processor, an ultrasonic transmitting circuit, and a receiving and displaying circuit.

The hardware circuit is made of data collecting sections, a core processor, display, data storage and power supply.

Basing on the given explanation, we can get the structure as shown in Fig. 3.

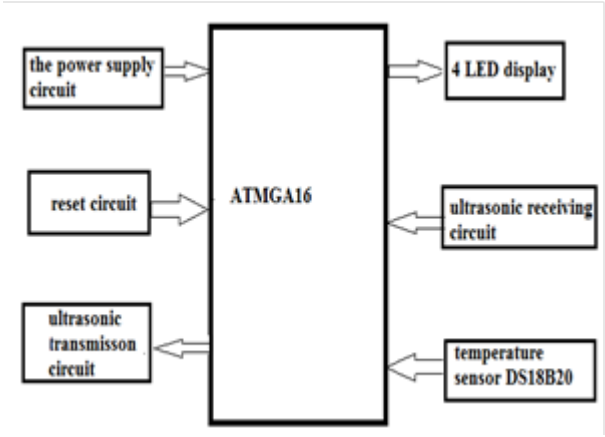


Fig. 3. Structure of ATMGA16

The major functions of the system include:

1.Using MCU to control the emission and to receive the ultrasonic wave;

2.Calculating the distance according to the measured time;

3 . Testing the air temperature to use it for temperature compensation to calculate the distance under measurement;

4.The LED display shows the distance and temperature;

5.When the system is not normal, the reset circuit starts.

The probe signals are integrated and analyzed by SCMC to perform various functions of the ultrasonic distance measurement instrument. This made the basis for the software design.

The software system is the part of the C language SCM process which makes the software more readable. The software includes the main program, interruption program, launch subroutines, receiving subroutines, display subroutines, and etc.

The program flow chart is shown in Fig. 4.

Ultrasonic ranging is widely used at present. The ASIC is used to design various distance measuring instruments considering the principle of ultrasonic ranging. However, it is a single function of the application-specific integrated circuit and its cost is high. A single chip processor as the core of the distance measuring instrument can realize the preset, multiple port detection, display, alarm and other functions. It is characterized by simple design, low cost, high control accuracy, and reliability.

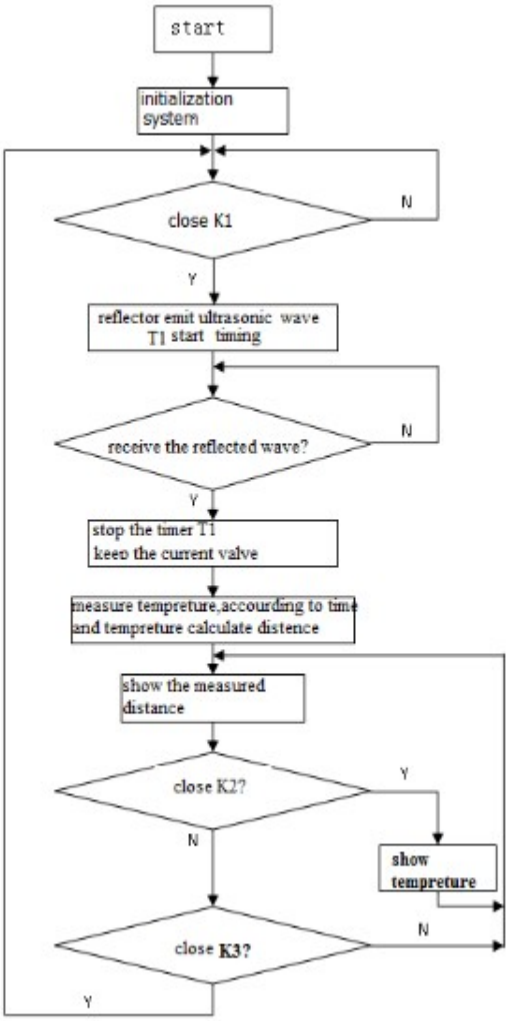


Fig. 4. Program flow chart

The design of the block diagram has been developed. It is going to be tested for further analysis and improvement to increase its accuracy and practicability.

References:

1. V.V. Klueva Instruments for nondestructive testing and products. 1989 -351p-

2. K. Fu , R. Gonzalez , Lee K. Robotics : Per. from English. - New York: Wiley, 1989 . – 624 p.

СЕКЦИЯ 3

Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

SECTION 3

Technology, equipment and machine-building production automation

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Антропова Л.Б., Бугаёв А.В., Грузин А.В.
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г.Омск, пр. Мира, д. 11
E-mail: polyot-m@mail.ru

Сокращение временных и материальных затрат остаётся одной из важнейших задач при проектировании и сооружении объектов нефтегазового комплекса. В связи с освоением новых месторождений углеводородов в сложных геолого-климатических условиях актуальность данной проблемы существенно возросла. Одним из путей снижения временных затрат при устройстве грунтовых оснований зданий и сооружений может быть совершенствование методов контроля влажности грунтов.

Известно, что при устройстве оснований зданий и сооружений нефтегазового комплекса для уменьшения осадок в процессе их эксплуатации возникает дополнительная необходимость в их предварительной подготовке, которая заключается в уплотнении грунтов оснований [1]. Уплотнение грунтов оснований зданий и сооружений повышает их прочность, снижает водопроницаемость, ускоряет консолидацию. Ранее выполненными исследованиями было установлено значимое влияние влажности грунта на работу, необходимую для уплотнения грунта [2-4]. Так же было установлено, что максимальное уплотнение грунта при его стандартном уплотнении возможно при определённом значении влажности пробы грунта, которая называется оптимальной влажностью. Очевидно, что одними из основных этапов производства работ по уплотнению грунтов оснований резервуаров являются, как определение величины оптимальной влажности грунта, так и непосредственно текущий контроль влажности уплотняемого грунта.

Существующая методика определения влажности грунта методом высушивания до постоянной массы [5] предусматривает необходимость первоначальной сушки песчаных грунтов в течение 3 ч, а остальных — в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных — в течение 2 ч. Очевидно, что такие временные затраты на текущий контроль влажности уплотняемого грунта не только увеличивают сроки выполнения работ, но и сильно снижают достоверность полученных результатов в результате естественного испарения воды, содержащейся в грунте, за время проведения лабораторного исследования. С целью сокращения сроков при определении влажности грунта была предпринята попытка поиска оборудования и разработка методики проведения экспресс-анализа влажности проб грунта.

В качестве оборудования был выбран галогенный анализатор влагосодержания HB43-S (см. рисунок 1), который используется в пищевой промышленности для экспресс-анализа влажности пищевых продуктов различного вида, консистенции и состава.

Рис. 1. Анализ влажности грунта с помощью галогенного анализатора влагосодержания

В комплектацию прибора входят прецизионные весы, позволяющие осуществлять взвешивание исследуемого образца с точностью до 1 мг, кварцевый нагреватель, обеспечивающий нагрев до 130 ºС. Установленные в галогенном анализаторе влагосодержания датчики контролируют текущее значение массы исследуемого образца, которая отображается на дисплее прибора. Процессор прибора, в зависимости от выбранной программы, управляет температурой сушки и её длительностью.

На начальном этапе исследований была разработана и введена в галогенный анализатор влагосодержания программа сушки пробы грунта: температура сушки 105ºС, масса образца до 10г, критерием остановки процесса сушки определена неизменность массы пробы грунта в течение 50 с. В качестве грунта предлагается использовать специально подготовленный песчаный грунт средней крупности (см. рисунок 2).

Рис. 2. Подготовка песчаного грунта заданной влажности

Была разработана методика проверки соответствия данных, получаемых с помощью предлагаемого галогенного анализатора

влагосодержания, расчётным данным. Предложенная методика подразумевает определение экспресс-методом влажности специально подготовленного грунта заданной влажности (см. рисунок 3).

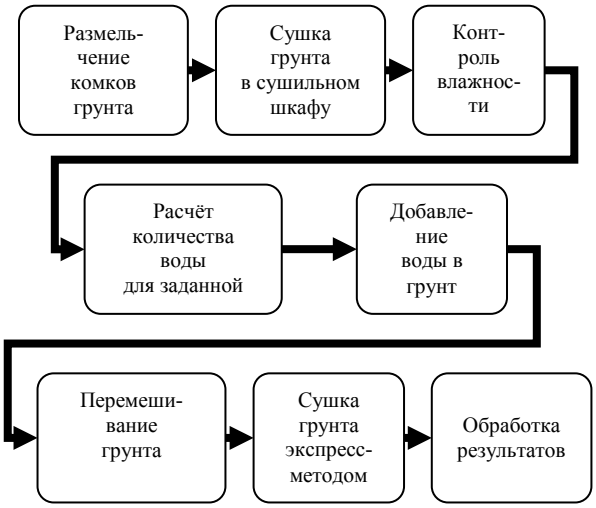


Рис. 3. Методика проведения исследований

Поскольку в пределах каждого исследуемого образца грунта имеет место непостоянство его физических характеристик, в том числе и влажности, поэтому на заключительном этапе исследований предложено использовать статистическую обработку полученных результатов.

Выполненные лабораторные исследования показали удовлетворительную сходимость результатов, полученных с помощью галогенного анализатора влагосодержания, и результатов, полученных в соответствии с методикой ГОСТ 5180-84 [5]. Используемое в исследовании лабораторное оборудование позволяет обеспечить требуемую точность определения влажности грунта (см. таблицу 1).

Таблица 1. Определение влажности грунта

№№ п/п	Дата	Масса тары m, г	Масса влажного грунта с тарой m_1, г	Масса высушенного грунта с тарой m_0, г	Влажность w, %	Время определения влажности
методом высушивания до постоянной массы с помощью сушильного шкафа						
1	15.10.13	739,7	1157,8	1153,7	1,0	4 ч 15 мин
методом высушивания до постоянной массы с помощью галогенного анализатора влагосодержания						
2	15.10.13	-	11,715 (б/тары)	11,605 (б/тары)	0,9	10,5 мин

Как видно из приведённых в таблице 1 данных, разница определений методик не превысила 0,1%. Кроме того, предварительные исследования показали существенное (в 20 раз) сокращение времени, необходимого на проведение анализа влажности грунта.

Опыт работы и полученные данные позволяют сделать вывод о целесообразности использования галогенных анализаторов влагосодержания в качестве оборудования для экспресс-анализа влажности грунтов оснований в процессе подготовки и устройства грунтовых оснований объектов нефтегазового комплекса. Весомыми аргументами в пользу такого решения являются: простота эксплуатации, малое время проведения лабораторного анализа влажности, небольшие габариты и малое энергопотребление.

Таким образом, в ходе выполненной исследовательской работы, направленной на совершенствование контроля влажности грунтов оснований зданий и сооружений нефтегазовой отрасли была разработана методика проведения исследований, предусматривающая подготовку грунта заданной влажности и последующее определение влажности образцов грунта с помощью галогенного анализатора влагосодержания. В качестве исследуемого грунта использован аллювиальный песок средней крупности поймы р. Иртыш. Полученные результаты позволяют сделать заключение об удовлетворительной сходимости данных, полученных по стандартной методике, и экспериментальных данных. Это, в свою очередь, позволяет говорить о целесообразности использования галогенного анализатора влагосодержания для экспресс-контроля влажности грунтов оснований объектов нефтегазовой отрасли в ходе их строительства с целью сокращения временных затрат и одновременного обеспечения высокой точности определения влажности.

Список литературы

1. Грузин А.В., Грузин В.В., Кучеренко М.В. Динамика ударных рабочих органов строительных машин в грунте. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012. – 136 с.

2. Ставницер Л.Р. Деформации оснований сооружений от ударных нагрузок. М.: Издательство литературы по строительству, 1969. – 129с.

3. Бартоломей А.А. Механика грунтов. М.: АСВ, 2003. – 304 с.

4. Потапов А.Д., Платов Н.А., Лебедева М.Д. Песчаные грунты: Научное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 256 с.

5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

БЫСТРОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЯ РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бабакова Е.В., Чудинова А.О.
Научный руководитель: Сапрыкин А.А., к.т.н.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: babakova@tpu.ru

Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping, RP) - это послойное построение физической модели (прототипа) в соответствии с геометрией CAD-модели. Основное отличие этой технологии от традиционных методов изготовления моделей заключается в том, что модель создается не отделением материала от заготовки, а послойным наращиванием материала, составляющего модель, включая входящие в нее внутренние и даже подвижные части.

В настоящее время известно более 80 разновидностей технологий быстрого прототипирования [1]. Все разработанные технологии быстрого прототипирования можно подразделить по нескольким основным направлениям:

1. Технологии, основанные на отверждении жидкостей.

1.1 Отверждение светом по маске. Из них наиболее известны технологии DESCAF, RMPD и Microstereolithography.

1.2 Отверждение УФ лазером включает двенадцать разновидностей, из которых наиболее известные Stereolithography и SOUP.

1.3 Отверждение двумя лазерами. Три технологии находятся в стадии разработки.

1.4 Отверждение УФ лампами: технологии PolyJet, DLP, FTI, MJM.

1.5 Гибридный композиционный материал. Комбинация инжекционной технологии с УФ отверждением. Технология Object 3D-printer.

2. Порошковые технологии. Технологии спекания порошков включает шесть технологий, из которых наиболее известны DMLS, SLS, SLP, SLM и SLRS.

Технологии сплавления порошков включает восемь разновидностей, из которых наиболее известны DMD и DLF технологии.

Технологии склеивания порошков, разработанные на основе метода 3D печати. Наиболее известные технологии 3-DP-печати и DSPC.

Прессование керамики с оплавлением связующего вещества давлением.

3. Изготовление моделей из твердых материалов. Способы экструзии пластмасс включают в себя три технологии, из которых наиболее известна технология FDM.

4. Методы, основанные на резке листовых материалов.

4.1 Резка материалов лазером. Наиболее известна LOM технология.

4.2 Резка материалов ножом представлена технологией PLT [2].

В Юргинском технологическом институте (филиале) Национального исследовательского Томского политехнического университета (ЮТИ НИ ТПУ) создана уникальная современная лаборатория компактного интеллектуального производства. В комплект оборудования входит 3D-принтеры Picaso 3DBuilder и Dimension 1200es, 3D-сканер и установка селективного лазерного спекания.

3D-сканер позволяет сканировать объёмные объекты в компьютер. Это позволяет ускорить процесс компьютерного проектирования будущей детали.

Эксперименты по спеканию порошка (рис.1) проводились на установке послойного лазерного синтеза оригинальной конструкции (рис.2). Установка, представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы. Она состоит из иттербиевого волоконного лазера ЛК – 100 – В, трехкоординатного стола, персонального компьютера, системы ЧПУ, и специального программного обеспечения. Иттербиевый волоконный лазер с длиной волны 1070 нм позволяет регулировать мощность от 10 до 100 Вт.

Рис. 1. Спекание порошка по SLS-технологии

Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering – SLS) предполагает использование лазерного излучения высокой мощности (например, CO_2–лазер) для того, чтобы плавить небольшие частицы пластика, металла (прямое лазерное спекание металла), керамические или стеклянные порошки в массу, которая имеет желаемую трехмерную форму. [3]

Лазер избирательно спекает порошкообразный материал путем сканирования поверхности порошка и последовательной сверки его с генерируемой в памяти компьютера 3D моделью детали (например, файлов CAD или сканированных данных в другом формате). После

того как очередное сечение детали закончено, емкость с порошком погружается на один слой ниже и процесс повторяется.

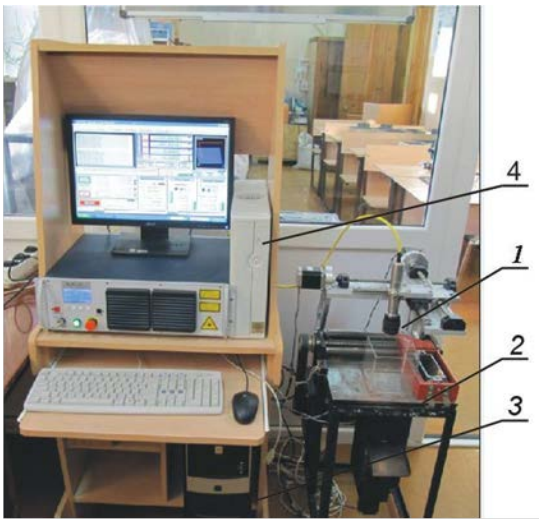


Рис. 2. Установка послойного лазерного спекания: 1– лазер, 2 – трехкоординатный стол, 3 – персональный компьютер, 4 – система ЧПУ

3D-принтеры Picaso 3DBuilder и Dimension 1200es работают по FDM-технологии (рис.3). Полученные изделия (рис.4) на данных принтерах можно обрабатывать, сверлить, шлифовать и окрашивать.

а) б)

Рис. 3. 3D-принтеры: а) Dimension 1200es, б) Picaso 3DBuilder

Моделирование посредством наплавления (Fused Deposition Modeling – FDM). Деталь производится при помощи укладывания слой за слоем специальной нити, нагретой до температуры плавления. Эта нить может быть как металлической, так и пластиковой или восковой. Расплавленная нить направляется в выталкивающую головку 3D принтера, через которую поступает на платформу. Так создается новый или первый слой будущей детали. Затем платформ чуть-чуть снижается для нанесения последующего слоя изделия (при других реализациях конструкции может опускаться/подниматься экструдер) [4].

Рис. 4. Изделие, полученное на 3D-принтере Dimension 1200es

Таким образом, реализация новых технических решений в области высоких технологий делает возможным быстрое изготовление деталей – прототипов любой сложности без дорогостоящей формообразующей оснастки или ручного труда, при этом сокращая финансовые, энергетические и временные затраты, и как следствие, конкурентное преимущество на современном рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бирбраер Р.А. Технология быстрого прототипирования в современном литейном производстве точных заготовок / Р.А Бирбраер, А.Е. Колмаков, В.В Столповский // Литейное производство. – 2004. – № 4. – С.11-14.

2. Куриный В.В. Возможность применения методов быстрого прототипирования в литейном производстве / В.В. Куриный, А.В. Свиридов // Науки о природе и технике. – 2011. – № 4. – С. 86-89.

3. Селективное лазерное спекание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.foto-business.ru/selektivnoe-lazernoe-spekanie.html.

4. FDM. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.foto-business.ru/tehnologii-struynoy-3d-pechati.html.

УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ И ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИЯХ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

Буханченко С.Е., Пустозеров К.Л., Зуев А.В.
Научный руководитель: Буханченко С.Е., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: triboss@tpu.ru

Одно из основных применений устройств, для измерений крутящих моментов вызвано необходимостью измерения мощности, передаваемой вращающимися валами машин и механизмов. Повышение точности измерений эффективной мощности на валах позволяет: более точно определять коэффициент полезного действия машин и механизмов, улучшает качество эксперимента и тем самым позволяет выявлять влияние малозаметных факторов на их экономичность и долговечность. В связи с этим, на сегодняшний момент, актуальна проблема определения параметров наиболее ответственных и нагруженных узлов машин и механизмов в динамических условиях, максимально приближенных к реальным условиям их функционирования [1].

Существует множество устройств, для регистрации крутящего момента в различных приводах машин и механизмов, однако наибольшее распространение получили устройства торсионного типа. Их классификация приведена на рис. 1.

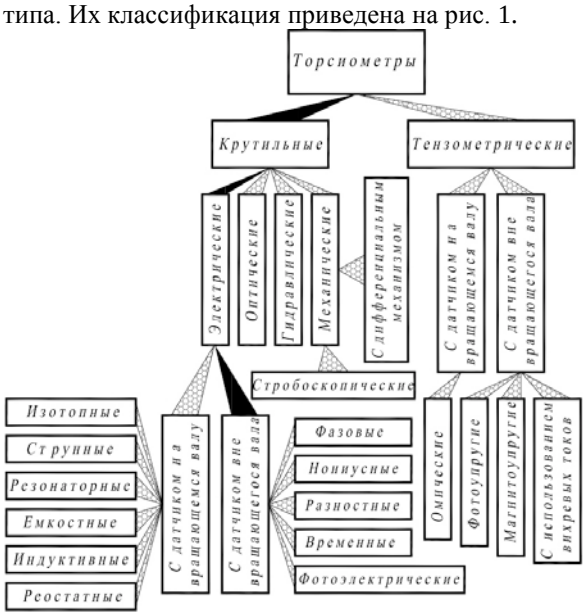
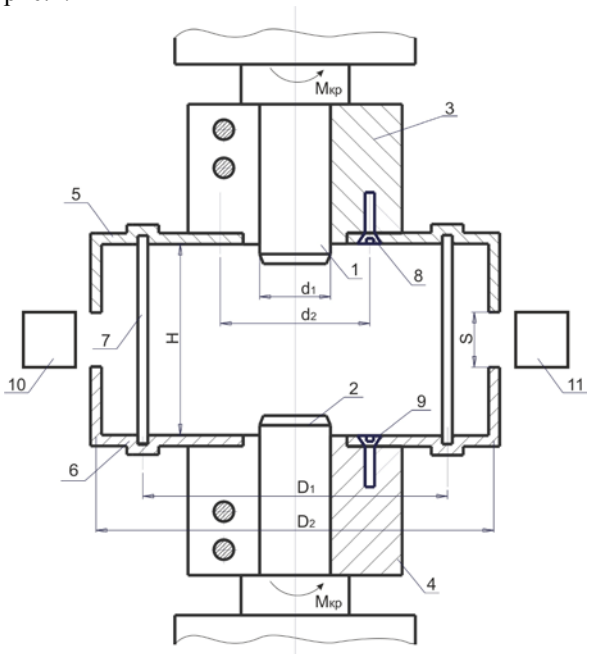


Рис.1. Классификация устройств регистрации крутящего момента торсионного типа.

В настоящее время торсионные приборы применяются практически во всех отраслях машиностроительной промышленности. В торсионных приборах измерение крутящего момента сводится к определению величины деформации упругого элемента, расположенного в цепи передачи.

В данной статье предлагается конструкция малогабаритного бесконтактного устройства регистрации крутящего момента, представленного на рис.2. Устройство относится к измерительной технике и предназначено для регистрации крутящего момента статически и динамически нагруженных узлов при вращательном и возвратно-вращательном движениях исполнительных органов машин и механизмов. Устройство реализует непрерывную регистрацию активных и пассивных крутящих моментов для минимизации временных затрат на проведение измерений и повышения достоверности результатов измерений с расширением функциональных возможностей за счет минимизации погрешностей, вносимых устройством измерения.

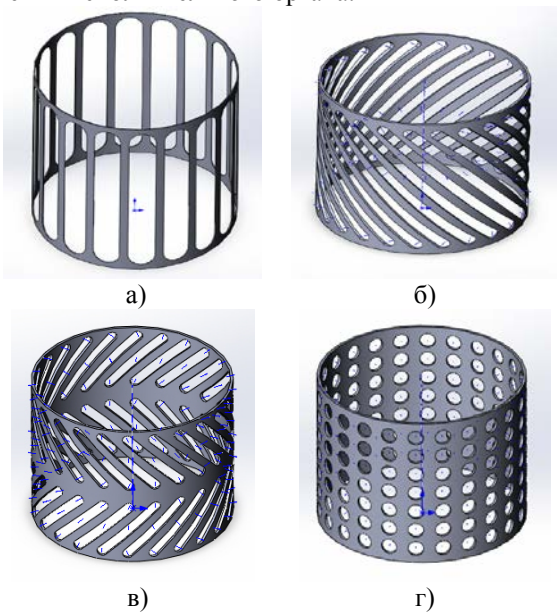
В данной статье предлагается конструкция малогабаритного бесконтактного устройства регистрации крутящего момента, представленного на рис.2.



Устройство состоит из двух стяжных полумуфт 1 и 2, на торцам которых винтами 8 и 9 закреплены чашки 5 и 6. Между собой чашки 5 и 6 жестко соедены через торсион 7, представляющей собой белечью клетку, образуя зазор величиной S. Напротив зазора S установлены датчики 10 и 11 регистрирующие перемещения торцев чашек 5 и 6 вследствие приложения крутящего момента. При одном направлении вращения происходит уменьшение зазора S, а в другом – увеличение. По изменению величины зазора S определяют величину крутящего (тормозного) момента.

Конструкция торсинона может быть разнообразной, в зависимости от типа вращения исполнительного органа (вращательный или возвратно-вращательный) и динамических нагрузок, возникающих в приводе (рис. 3). На рис. 3а и 3б пред-

ставлена конструкция торсинона преимущественно для однонаправленного вращательного, а на рис. 3в и 3г – для возвратно-вращательного движений исполнительного органа.



а) б) в) г)

Рис. 3. Типы торсионов.

Точность устройства регистрации крутящего момента будет зависеть от жесткости конструкции, обусловленной виличинами и соотношениями диаметров чашек D1 и D2, высотой торсиона H, толщиной чащек и торсиона. Кроме того, точность будет зависеть от типа, вида и количества применяемых датчиков измерения зазора S.

Определение площади поперечного сечения торсинона производилось по формуле [2]:

$$d_т \geq \sqrt[4]{\frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{10}{\varphi_т} \cdot \frac{l_т \cdot M_{кр}}{G}},$$

где $d_т$ – условный диаметр торсиона, характеризующий площадь его поперечного сечения;

$l_т$, $\varphi_т$ – длина и угол закручивания торсиона;

G – модуль сдвига;

$M_{кр}$ – крутящий момент.

При разработке устройства регистрации крутящего момента к конструкции торсиона предъявлялись следующие требования.

Во-первых, точность измерения здесь тем выше, чем больше угол закручивания торсиона. Поэтому расчет допустимой жесткости производился исходя из требований минимального искажения переходных процессов.

Во-вторых, ограничение осевого размера осуществлялось исходя из требований к компактности. Однако его увеличение снижает изгибную жесткость упругого элемента.

В-третьих, поскольку привод вращения работает в докритической области, то торсион спроектирован так, чтобы при минимальной жесткости на кручение критическая скорость была выше рабочего диапазона.

Для спроектированного устройства измерения крутящего момента была проведена градуировка. Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных данных составило 0,1%. Появление этой погрешности обусловлено следующими основными факторами:

- точность геометрии торсиона;
- неоднороднородность свойств материала торсиона;
- зависимость модуля упругости материала от температуры.

Погрешность, связанная с упругим гистерезисом не наблюдалась.

Разработанный датчик крутящего момента работает при скоростях вращения до 6000 об/мин и имеет высокую линейную точностную характеристику. При угле закручивания 3 градуса его разрешающая способность составляет ±0,05“.

К достоинствам разработанного устройства можно отнести:

- бесконтактный способ измерения;
- малые габариты и вес устройства;
- простота конструкции и трудоемкость изготовления;
- расположение датчика вне вращающейся конструкции;
- возможность использования различных типов датчиков;
- низкая стоимость;
- простота балансировки и тарировки;
- высокая точность измерений при установке большого количества датчиков вдоль образующей чашек.

К недостаткам же следует отнести: высокие требования, предъявляемые к соосности соединяемых валов и необходимость проведения балансировки при работе на высоких скоростях.

Устройство регистрации крутящего момента данной конструкции успешно прошло опробирование на автоматизированном триботехническом комплексе для испытания конструкционных материалов и смазочных сред в статических и динамических режимах [3], подана заявка на изобретение.

Литература

1. Фролов Л. Б. Измерение крутящего момента. – М.: Энергия, 1967. – 120 с., ил.
2. Орлов П. И. Основы конструирования. В 2-х книгах. Кн. 2. - М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.: ил.
3. Буханченко С.Е. Автоматизированный комплекс для трибодиагностики пар трения вращательного и возвратно-вращательного действия в условиях, максимально приближенных к реальным // Контроль. Диагностика. – 2009. – №7. С. 60-66.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК В ВИТКАХ РЕЗЬБЫ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНЫХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Васильев А.В.,
Научный руководитель В.И. Малыгин, д.т.н., профессор
Институт судостроения и морской арктической техники (Севмашвтуз) Северного (Арктического) федерального университета, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17.
E-mail: an_vasss@mail.ru

В пропульсивных системах используемых в условиях Арктики используются сборные гребные винты из низкотемпературных нержавеющих сталей. Высокие нагрузки на лопасти, вызываемые взаимодействием со льдом, воспринимаются болтами крепления лопасти и должны выдерживать нагрузку поломки лопасти, которая может возникнуть в процессе эксплуатации. Увеличение прочности материала лопасти на 20% потребовало соответствующего увеличения прочности материала болтов и повышения моментов затяжки болтов и усилий возникающих в теле болта. Это вызвало появление проблем затяжки, одна из которых возникает при затягивании нержавеющих болтов до уровня 70-80% от расчетной величины затяжки и проявляется в пронзительном скрежете после чего, болт начинает проворачиваться рывками, несмотря на покрытие резьбовых и опорных поверхностей антизадирными медью и смазкой. В некоторых случаях невозможно достичь достаточной силы затяжки. Резьбовые поверхности недокрученного болта «намертво схватываются», что приводит к необходимости удалять болт растачиванием и восстанавливать резьбовое отверстие ступицы резьбовыми вставками или браковать ступицу, что приводит к значительным материальным затратам из-за высокой стоимости габаритных деталей масса которых достигает 15 тонн.

Вышеуказанные проблемы делают актуальным исследование процессов происходящих при затяжке крупногабаритных деталей соединений, выполненных из высокопрочных нержавеющих сталей.

Цель теоретического исследования найти точные методы расчета болтов ведущие к уменьшению усилия затяжки. Цель практического исследования, найти виды покрытия, исключающие причины схватывания резьбовых поверхностей, установить предельные величины нагрузки болта при которых происходит закусывание резьбы, предложить способы затяжки исключающие нагрузку болтов крутящим моментом для уменьшения расчетных усилий момента затяжки.

Основным критерием работоспособности соединения фланцевого является нераскрытие стыка соединения при действии внешних нагрузок. Коэффициент запаса по нераскрытию стыка принимается в практических расчетах равным 2,1 (и может быть 1,8-2,5). С учетом запаса прочности материала болтов 1,5 -2,5 от предела текучести, величина усилия затяжки достигает 1800– 2400 кН (180-240 тонн). Размеры сечения болтов находятся в пределах Ф82-105 для болтов М85–М110х4. Такие размеры болтов ведут к увеличению габаритов соединения, что неблагоприятно сказывается на нагрузки консольной части гребного вала и гидродинамику. Уменьшение размера болтов и снижение момента затяжки за счет применения более прочных сталей ограничено, т.к. материал ответной резьбы имеет ограничения по прочности, а увеличение напряжения смятия на витках резьбы из-за уменьшения диаметра резьбы ведет к увлечению вероятности схватывания резьбы. Поэтому, данное исследование было направлено на уточнение используемой методики расчета фланцевого соединения, в частности, уточнение величины коэффициента неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбы $K_m=P_{ср}/P_{max}$ =0.56, влияющего на величину расчетного давления на поверхности витков резьбы и на вероятность возникновения схватывания и оценка возможности ее увеличения доступными способами и уточнение величины расчетной вытяжки болта.

Исследование проводилось методом конечных элементов во встроенном расчетном модуле Siemens NX на базе расчетного ядра Nastran. Схема расчета показана на рис.на рис.1.

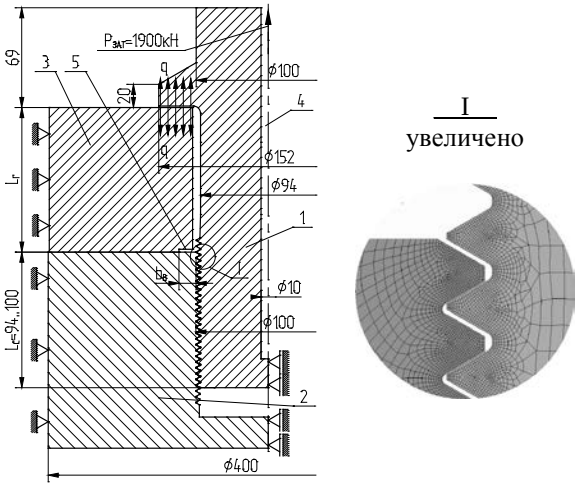
Всего было создано 30 расчетных моделей с получением результатов расчета для резьбы М100 с усилием $P_{ЗАТ}$=1900 кН соответствующей наибольшей практической затяжке. Витки резьбы моделировались кольцевыми выступами. Был назначен линейно-упругий материал с модулем Юнга Е=206ГПа и коэффициентом Пуассона 0,3. Варьировались следующие параметры:

- изменялась высота соединения за счет толщины фланца лопасти и гладкой части болта $L_Г$=70-150 мм с шагом 20 (5 экспериментов)
- изменялся шаг резьбы 4 и 6 мм (10 экспериментов с учетом $L_Г$)
- изменялась относительная разность шагов внутренней (ступица) и наружной (болт) резьбы $\delta_P=\Delta p/p$= -0,00025…0,001 с шагом 0,00025 для М100х4 (5 экспериментов). Отрицательная величина соответствовала случаю, когда шаг внутренней резьбы меньше, чем у наружной.

В результате исследований были получены следующие результаты: 1. Полученная величина коэффициента неравномерности распределения

нагрузки по виткам для резьбы М100х4 равняется K_m=0.532, и отличается от значения, принимаемого в расчетах на 5%. (рис.2)

2. Увеличение шага резьбы с 4 до 6 мм при вышеуказанных параметрах резьбы практически не влияет на величину коэффициента, который принимает значение K_m=0.535.



а. **б.**

Рис.1 а)-осесимметричная конечно-элементная модель болтового соединения с основными размерами и граничными условиями: 1 – болт; 2 – ступица; 3 – фланец лопасти; 4 – отверстие для контроля вытяжки; кольцевая выточка на фланце лопасти, б) - увеличенный фрагмент конечно-элементной сетки.

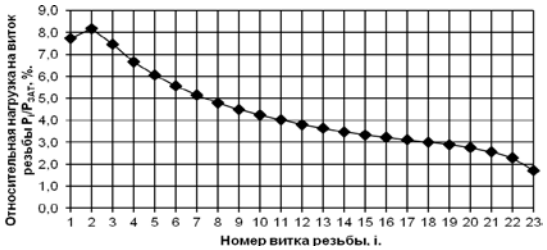


Рис.2. Распределение нагрузки по виткам резьбы для болтового соединения: М100×4; L_C=94мм (23 витка); $L_Г$=100мм; δ_P=0; без кольцевой выточки; $P_{ЗАТ}$=1900 кН, расчетное значение K_m=0.532.

3. Заметное влияние на величину коэффициента K_m оказывает длина гладкой части болта / толщина фланца лопасти, так при изменении $L_Г$ от 70 до 150 мм величина K_m изменяется на 10% от 0.504 до 0.553

4. Разность шагов внутренней и наружной резьбы Δp оказывает самое большое влияние на распределение нагрузки по виткам резьбы затянутого болтового соединения. При Δp<0 величина K_m снижается, то есть неравномерность распределения нагрузки по виткам увеличивается, сильнее нагружаются первые витки резьбы. А при увеличении Δp>0 величина K_m сначала увеличивается, затем снова снижается за счет повышения нагрузки на последние витки. На рис.3 показано распределение относительной нагрузки $P_i/P_{ЗАТ}$ по виткам резьбы для болтового соединения с резьбой М100×4, L_C=94мм (23 витка), $L_Г$=100мм, для разностей шагов резьбы:

Разность шагов резьбы Δp	-1мкм	1мкм	3мкм	4мкм
Относительная разность шагов $\delta_P=\Delta p/p$	- 0.25 x10^{-3}	0.25 x10^{-3}	0.75 x10^{-3}	0.001
Коэффициент K_m	0.475	0.65	0.81	0.79

В целом проведенные расчеты показывают, что при рассмотренных параметрах болтового соединения наибольшая величина K_m и наиболее равномерное распределение нагрузок по виткам резьбы достигается при относительной разности шагов $\delta_P=\Delta p/p$ =0.00075..0.001. При этом снижение нагрузки приходящейся на наиболее нагруженный виток составляет 30..36% по сравнению с резьбой одинакового шага.

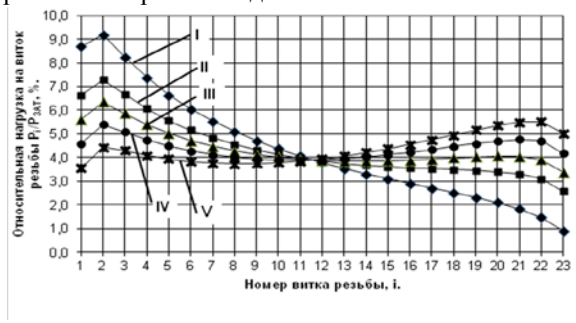


Рис.3. Распределение нагрузки по виткам резьбы для болтового соединения М100×4, L_C=94мм (23 витка), $L_Г$=100мм, b_B =0, $P_{ЗАТ}$=1900 кН: I - Δp=–1мкм, K_m=0.475; II - Δp=1мкм, K_m=0.65; III - Δp=2мкм, K_m=0.69; IV - Δp=3мкм, K_m=0.81; V - Δp=4мкм, K_m=0.79.

Выводы и рекомендации теоретического исследования

Существенно снизить неравномерность нагрузки в витках резьбы болтовых соединений сборных гребных винтов можно увеличением шага внутренней резьбы в ступице по сравнению с шагом резьбы болта. Более целесообразно резьбу болтового соединения выполнять с разностью шагов внутренней и наружной резьбы δP=Δp/p =0,00075..0.001, что позволяет повысить коэффициент неравномерности распределения нагрузки в витках резьбы Km на 40..50% и снизить максимальную нагрузку на виток резьбы на 30..35%. Причем, при такой разности шагов свинчиваемость резьбы будет обеспечена за счет стандартных зазоров резьбы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения / Биргер И.А. и др. -М.: Машиностроение, 1990. - 368 с.

2. Иванов А.С., Методы повышения надежности машин / Иванов А.С.// Вестник машиностроения. 2009. №2. С.40-42.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПО ПРИНЦИПАМ «БЕРЕЖЛИВОГО» МЕНЕДЖМЕНТА НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Кокарева В.В., Малыхин А.Н., Смелов В.Г.
Научный руководитель: Проничев Н.Д., профессор, д.т.н.
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева,
443086 Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: victoriakokareva@gmail.com

Сегодня актуальным остается вопрос эффективного выполнения технической подготовки производства за счет совершенствования процесса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, т.е. модернизации действующего производства деталей авиационного назначения. Процесс создания двигателя, даже мини ГТД, характеризуется интенсивным обменом результатами работы между отделами предприятия, подразделениями организации и конкретными исполнителями, участвующими в разработке. При этом взаимодействие происходит на всех этапах «жизненного цикла» продукта и охватывает фазы производства и эксплуатации. Эффективная работа такого предприятия («виртуального предприятия») обеспечивается применением современных информационных технологий. Под виртуальным предприятием понимается моделирование взаимосвязанных бизнес-процессов производства по системе «как надо». В понятие виртуального предприятия входят все его компоненты от поставщиков до покупателей. На созданном нами виртуальном предприятии производится широкая номенклатура изделий для мини ГТД, основные из которых составляют детали газогенератора (крыльчатка, валы, камера сгорания, ротор и т.п.).

Основные пути повышения конкурентоспособности проектируемого предприятия заключаются в формировании единого информационного пространства (ЕИП) в целях информационной поддержки всех этапов жизненного цикла изделия и интеграция работы в нем различных служб предприятия (в том числе, производственно-диспетчерской службы).

Целью данной работы является создание методики построения информационной системы предприятия, ориентированной на организацию производства конкурентоспособной продукции (мини ГТД) методами НИОКР, разработки и внедрения современных технологий (технологии быстрого прототипирования и высокоскоростная обработка) средствами модернизации производства на базе виртуального предприятия.

Помимо организации информационного пространства при оптимизации и реинжиниринге бизнес-процессов производства необходимо учитывать принципы «бережливого» менеджмента. Это, в первую очередь, устранение потерь. Потери времени и увеличение цикла изготовления продукции связано в основном с подготовительно-заключительными операциями, а так же со временем межоперационного простоя деталей. Причины потерь в процессе подготовительных работ производства: некачественное планирование производства, несвоевременное поступление оснастки и материалов. Также существенной проблемой является частый выпуск отделами изменений технической документации и несвоевременное информирование о проделанных изменениях. Все это ведет к потере времени на уточнение данных, увеличению трудоемкости, выпуску некачественной продукции.

При анализе производственно-организационной структуры типового предприятия (механообрабатывающий цех с высокотехнологичным оборудованием) были выявлены основные недостатки: не эффективное взаимодействие и организация совместной работы программистов (отдел программного управления, службы информационных технологий), наладчиков участка, операторов станка. Кроме этого, возникает аритмичность производства из-за наличия двух видов планов.. Сначала выполняют 100% работ по положению, а потом уже в оставшиеся сроки пытаются выполнить работу, предусмотренную месячным планом. Невозможность четкого планирования работ на месяц в таких условиях приводит к тому, что график в течение месяца может по несколько раз меняться. В результате чего была получена концептуальная структурная модель «As Is» («Как есть») работы предприятия. Необходимо оптимизировать производственную систему цеха, как по объемам ресурсов, так и по количеству исполнителей. Эти задачи необходимо решать на основе анализа действующего производства (по построенной модели «Как есть»), а также необходимо выявлять проблемные «узкие места» в реальных производственных условиях.

Рабочее место, на котором формируется продукция основного производства, является его базовым звеном, следовательно, эффективное функционирование каждого рабочего места обеспечивает успешную работу предприятия в целом. Это условие эффективности производства является необходимым, но далеко не всегда достаточным. Необходимо обеспечивать высокопроизводитель-

ные режимы обработки, синхронизацию операций (снижение незавершенного производства), высокий уровень производственного планирования по мощностям и уменьшения длительности производственного цикла и т.д. Все эти факторы становятся особенно значимыми в условиях создания современного инновационного производства в металлообработке, при использовании высокоавтоматизированных обрабатывающих комплексов. Уменьшение времени простоев такого оборудования является наиболее важным требованием повышения эффективности производства.

По результатам анализа модели «Как есть» были выявлены основные параметры производственной системы – простои (рис. 1).

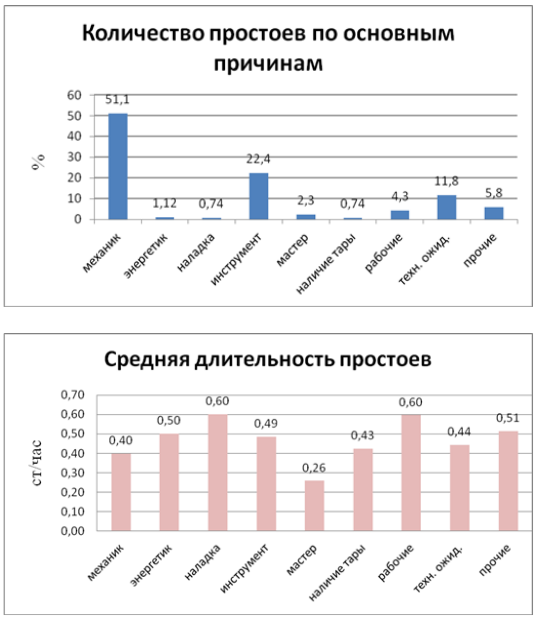


Рис.1 – Количество и длительность простоев

Основной причиной простоев в обследуемом цехе является длительная наладка технологического комплекса из-за нехватки инструмента, технологического ожидания, неправильного задела на изготовление деталей. Учитывая вышеперечисленные недостатки производственного планирования и организации, смоделировали бизнес – процессы нашего предприятия по выпуску деталей мини ГТД. В качестве основы информационного пространства для моделирования применили PDM-систему Teamcenter. Основа информационной системы Teamcenter – структура изделия мини ГТД «Вихрь», представленная в виде иерархического отношения. На рис. 2 представлена структура процесса фрезерования изделия.

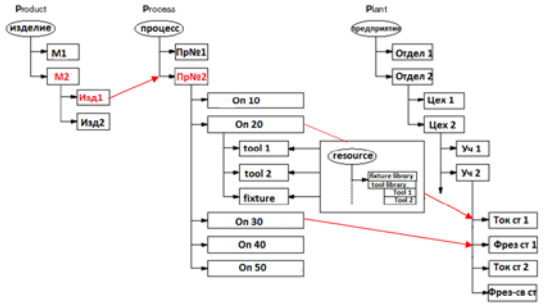


Рис. 2 – Структура процесса/продукта

Каждый информационный объект состава двигателя обладает определенными параметрами: 3D-модель, технические требования, инструкции, спецификации. Для каждого элемента структуры изделия создается технологический маршрут, состоящий из определенной последовательности работ (Литье, Механообработка, Термообработка, и т.п.), нижний уровень технологического процесса состоит из операций, переходов, ресурсов. Для каждой операции определяется исполнитель в виде структурного подразделения предприятия, например, Механообработка – CAM-центр. Каждая операция описывается, в свою очередь, рабочими действиями (переходами), а также назначаются ресурсы. Разработка маршрутов и технологических процессов (назначение операций, переходов, структурных подразделений, ресурсов, видов работ и т.п.) производится в диалоговом режиме, путем выбора необходимых данных из справочных структур классификатора или структуры предприятия, или на основе аналога. Так формируется структура процесса - технологическая спецификация или технологическая ведомость материалов. Таким образом, на верхнем уровне составления маршрута производства изделия, создается расцеховочный маршрут, содержащий информацию о последовательности структурных подразделений и выполняемых в них видах работ, и сквозной технологический процесс, наполняемый соответствующими структурными подразделениями, операциями, переходами, ресурсами.

Также разработаны Workflow-модели документооборота и бизнес-процессов производства детали «Крыльчатка». Благодаря ЕИП управления данными обеспечивается поддержка распределения заданий на подготовку производства структурным подразделениям, закрепленным за соответствующим цехом и видом работ. Интеграция CAD/CAM и PDM-системы позволила сократить время на ТПП изделия за счет организации автоматизированной подготовки данных для проектирования технологического процесса на 47 % и понизить стоимость запуска изделия в производство в 1,5 раза.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ДЕФОРМАЦИЮ ОСНОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА РВС-50000

Коновалова А.Д., Бугаёв А.В., Грузин А.В.
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г.Омск, пр. Мира, д. 11
E-mail: polyot-m@mail.ru

Важным условием обеспечения бесперебойной работы технологического комплекса для транспортировки и хранения углеводородов и продуктов их переработки является обеспечение устойчивости по грунту основания зданий и сооружений, задействованных в производственном цикле. Одними из ответственных элементов такого технологического комплекса являются резервуары для хранения жидких углеводородов. В процессе эксплуатации грунтовые основания резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов подвергаются циклическим нагрузкам, возникающих при их заполнении и последующем опорожнении.

Следствием этого в основании резервуара имеют место деформации, величина которых в процессе эксплуатации не должна превышать расчётных значений. Очевидно, что на величину деформации влияет как характер нагрузки, так и характеристики грунта основания резервуара. Совершенствование конструкций резервуаров, освоение новых месторождений в сложных геолого-климатических условиях требует дальнейшего изучения прочностных и деформационных свойств грунтов оснований под действием внешних факторов окружающей среды [1].

С целью уточнения особенностей деформации грунтов оснований резервуаров была проведена серия лабораторных исследований. На начальном этапе исследований были выбраны вид нагрузки и грунт основания. В качестве нагрузки был выбран вертикальный стальной резервуар марки РВС-50000. Высота его стенки составляет порядка 18 метров. Максимальная нагрузка на основание резервуара имеет место при проведении гидравлических испытаний, которые подразумевают регулируемое заполнение резервуара водой [2]. С учётом массы самого резервуара и установленного на нём технологического оборудования, уровня воды при проведении гидравлических испытаний, а так же снеговой нагрузки в зимнее время (в условиях г. Омска) максимальное давление на грунты основания было принято равным 180 кПа.

Как правило, для устройства основания резервуара используют специально подготовленную песчаную подушку. Поэтому в качестве грунта основания резервуара был принят песок средней крупности, добываемый в пойме р. Иртыш. В ходе подготовительного этапа был определён гранулометрический состав песка. Кроме того, были определены насыпная плотность ρ (см. рисунок 1, а) и влажность **w** (см. рисунок 1, б) грунта, плотность частиц грунта ρ_s, что в свою очередь позволило рассчитать коэффициент пористости песка **e** (см. таблицу 1).

Была разработана методика проведения исследований, на основе которой были выполнены

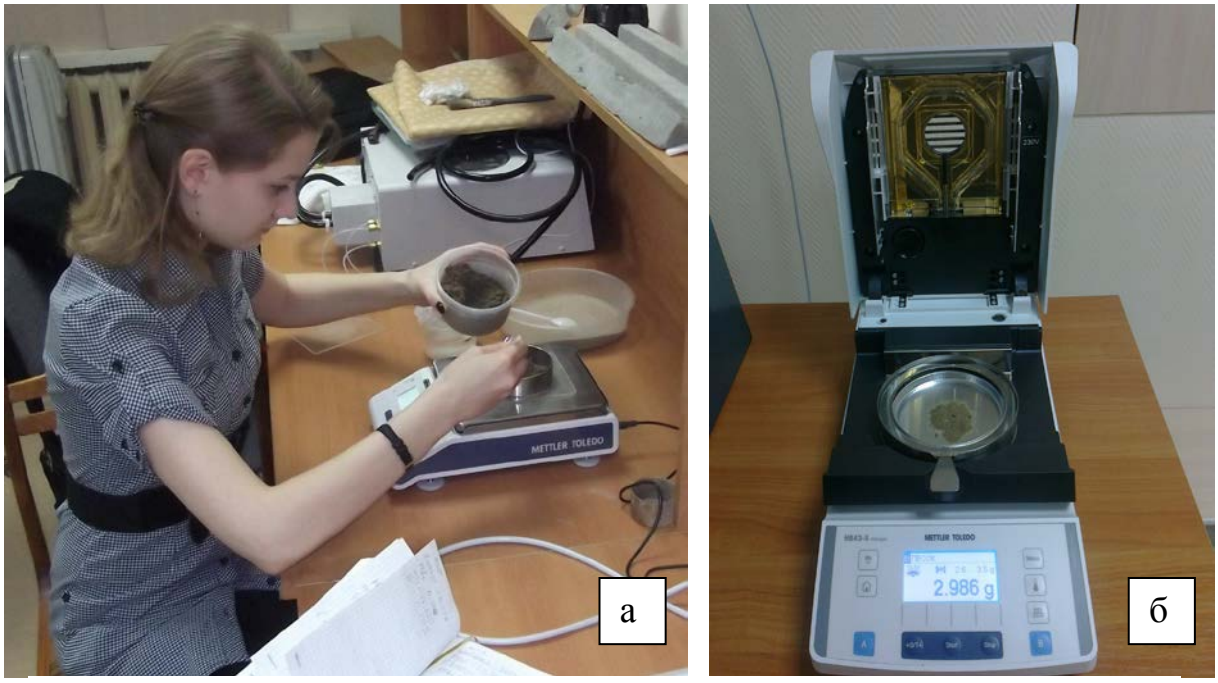


Рис. 1. Лабораторное определение насыпной плотности (а) и влажности (б) песчаного грунта

тестовые лабораторные испытания песчаного грунта.

Таблица 1. Физические характеристики

Показатели	Характеристика
Насыпная плотность **ρ**, г/см^3	1,46
Влажность **w**, %	1,1
Плотность частиц $\boldsymbol{\rho_s}$, г/см^3	2,61
Коэффициент пористости **e**, д.е.	0,81

Специально подготовленные пробы грунта были увлажнены рассчитанным количеством воды с целью получения заданной влажности. Затем увлажнённые пробы грунта были подвергнуты компрессионным испытаниям в одометре (см. рисунок 2).

Рис. 2. Проведение компрессионных испытаний песчаного грунта

Полученные экспериментальные данные позволили построить компрессионные характеристики исследованных проб грунта (см. рисунок 3).

Выполненные экспериментальные исследования показали зависимость величины уплотнения грунта от его влажности и прилагаемого давления. С ростом влажности грунта от W=0% до W=2% величина относительного уплотнения его скелета возрастает от 4% до приблизительно 10%. В диапазоне значений влажности песчаного грунта от W=2% до W=15% величина относительного уплотнения его скелета остаётся практически неизменной и равной 10%. При дальнейшем росте влажности грунта (свыше W=15%) величина относительного уплотнения его скелета уменьшается. Предполагается, что резкое увеличение величины

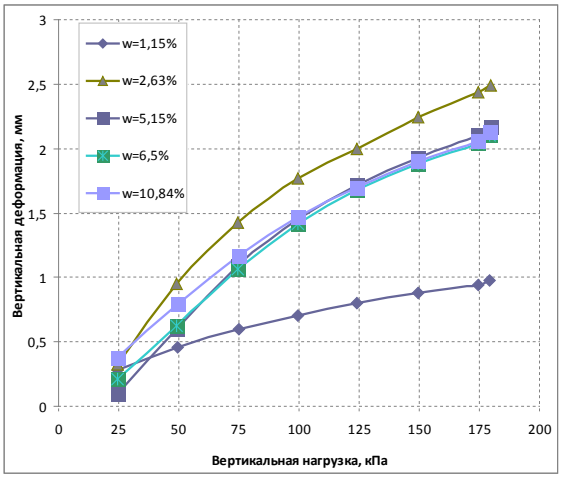


Рис. 3. Влияние влажности песчаного грунта на его деформативные свойства

относительного уплотнения скелета грунта в диапазоне от W=0% до W=2% обусловлено снижением сил трения между частицами песчаного грунта благодаря наличию жидкой фазы (воды) в порах грунта. В свою очередь, резкое снижение величины относительного уплотнения скелета грунта при его влажности свыше W=15% предположительно вызвано уменьшением доли газовой фазы в порах грунта и ростом сил сопротивления сжатию со стороны жидкой фазы. Так же было установлено, что деформация песчаного грунта от приложенного давления носит нелинейный характер. С увеличением давления рост деформации замедляется. Для достижения стабилизированной осадки необходимо повышать давление последовательно - ступенями, с выдержкой на каждой ступени в течение 5 минут и 30минут на заключительном этапе.

Таким образом, в ходе лабораторных исследований влияния влажности на деформацию грунтового основания резервуара РВС-50000 были определены характер и величина нагрузки на грунт основания, которая составила 180кПа. В качестве грунта основания был выбран песчаный грунт. Для исследуемых проб грунта были определены их основные физические и механические характеристики.

Кроме того, по результатам выполненных лабораторных испытаний проб песчаного грунта была уточнена методика проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Грузин А.В., Грузин В.В., Кучеренко М.В. Динамика ударных рабочих органов строительных машин в грунте. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012. – 136 с.
2. РД-16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. «Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объёмом 1000-50000 куб.м».

РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТЕНТОВ

Краев Е. В.
Научный руководитель: Зыков И. Ю., к. ф.-м. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: century7@mail.ru

Введение

Стент – изготовленная в форме цилиндрического каркаса упругая металлическая или пластиковая конструкция, которая помещается в просвет полых органов и обеспечивает расширение участка, суженного патологическим процессом. Стент обеспечивает проходимость физиологических жидкостей, расширяя просвет полого органа. Эффект стентирования сильнее и продолжительнее, чем при баллонной дилятации, при этом снижается риск повторного стеноза или перфорации.

Целью данной работы является отработка технологии создания металлических стентов с применением комплекса прецизионной лазерной резки RX-50.

Используемые материалы

Материалом для исследований служат металлические трубки, изготовленные из нержавеющей стали, применяемой в медицине (ГОСТ 12Х18Н10, она же 18/10).

Лазерная обработка

Лазерная резка образцов производилась на комплексе прецизионной лазерной резки RX-50, представляющим собой волоконный иттербиевый импульсный излучатель с частотой следования импульсов 20-100 кГц и средней выходной мощностью 50 Вт.

Обработка образцов

Для последующей обработки образцов применялась ультразвуковая чистка с абразивом и электрохимическая полировка.

Исследовательская часть

Основной целью исследований был поиск оптимальных параметров лазерной резки, обеспечивающих необходимый результат и высокое качество полученных образцов.

Этап 1.

Исследование параметров лазерного комплекса. Основные параметры, изученные на данном этапе – подбор оптимального соотношения мощности излучения к скорости лазерной резки. Данное соотношение необходимо для:

а) определения количества повторений одного контура при резке для достижения необходимого результата (т.н. «проходов»)

б) достижения минимальной ширины реза, что необходимо для более точной передачи формы конечного образца

в) исследования поведения обрабатываемого материала в зависимости от выбранных параметров.

В результате исследований были подобраны оптимальные параметры для максимально точной передачи заданной формы конечному изделию. Было установлено, что наилучший эффект достигается при однократном проходе, т.к. при большем количестве проходов конечная форма изделия получается неточной за счет механизмов позиционирования исходного материала. Потеря точности ведет к нарушению каркаса конструкции стента, что приводит его в негодность, т.к. повышается риск разрыва или неравномерного раскрытия. Также за счет оптимального соотношения мощности лазерного излучения и скорости лазерной резки понижается время изготовления одного стента, что положительно влияет на оптимизацию процесса производства.

Этап 2.

Изучение воздействия различных газов, используемых при лазерной резке.

Защитные газы, используемые в процессе металлообработки, вызывают различные эффекты при воздействии на металл. Основные показатели, на которые влияют защитные газы: ширина реза, величина энерговклада для достижения необходимого результата резки, химический состав поверхности слоя и реза, состояние материала после лазерной обработки (в т.ч. хрупкость, твердость, микротвердость и т.п.).

Для изучения на данном этапе были выбраны четыре основных газа – воздух, азот, кислород и аргон. В результате исследований защитных газов были установлены основные свойства, которые вызывает каждый из них:

а) воздух. Основные плюсы: требуются небольшие энерговложения, что позволяет повысить скорость резки, и, соответственно, оптимизировать технологию. Ширина реза удовлетворяет требованиям. Также большим плюсом является тот факт, что отпадает необходимость использовать газовые баллоны, в данном случае достаточно использовать компрессор.

Основные минусы: после резки на поверхности металла наблюдаются т.н. цвета побежалости - оксидные пленки, изменяющие цвет изделия и сигнализирующие об изменении обрабатываемой поверхности.

б) кислород. Основные плюсы: энерговложения, необходимые для достижения результата, ниже, чем у воздуха на 25-30%.

Основные минусы: большая ширина реза, что ведет к потере формы конечного изделия, наблюдаются оксидные пленки.

в) азот. Основные плюсы: отсутствуют оксидные пленки, изменение цвета конечного изделия минимально, что ведет к меньшему времени последующей обработки изделия с помощью

ультразвуковой чистки и электрохимической полировки. Качество реза лучше, а ширина реза меньше по отношению к воздуху.

Основные минусы: требуется больший энерговклад, по сравнению с использованием воздуха, до 35%. Параметры обрабатываемой поверхности резко меняются – повышается твердость и хрупкость, что делает невозможным использовать стент по его прямому назначению, т.к. при его раскрытии вместо растяжения наблюдается разрушение. Данный эффект появляется из-за наличия нитридов, которые образуются при воздействии лазерного излучения совместно с азотом на материал.

г) аргон. Основные плюсы: т.к. газ химически инертен, соединения с металлами не образуются, что положительно сказывается на полученных образцах – отсутствуют оксидные пленки и соединения, изменяющие физические параметры обрабатываемого материала. Это ведет к тому, что последующая обработка полученных образцов сводится к минимуму и основные параметры, к которым предъявляются требования, такие как твердость, пластичность, хрупкость, остаются практически неизменны, за исключением термического воздействия лазерного излучения. Также при использовании аргона наблюдается высокое качество реза и его минимальная ширина, что также положительно влияет на конечные образцы.

Основные минусы: требуется энерговклад, сопоставимый с энерговкладом при использовании азота. Относительная дороговизна аргона.

Последующая обработка образцов.

Для удаления остаточных продуктов лазерной резки используется ультразвуковая ванна с абразивом. После обработки в ванне, образцы избавляются от грата, напылений, термических пленок, приобретают металлический блеск и полированную поверхность с отличным качеством реза.

Электрохимическая полировка использовалась для удаления продуктов лазерной резки при использовании азота и воздуха. Данный метод позволяет избавиться от оксидных и нитридных поверхностных пленок, но основной эффект от них сохраняется – на обработанной поверхности наблюдаются микротрещины, изменения твердости и хрупкости сохраняются.

Заключение.

В результате проведенной работы отработана технология лазерной резки заготовок медицинских стентов – созданы необходимые технологические оснастки для лазерного комплекса RX-50, подобраны оптимальные параметры режима лазерной резки для достижения необходимого результата за максимально короткое время. Исследованы различные защитные газы и их воздействие на получаемые образцы. Установлено, что наилучшим газом для данных целей является аргон. Организована постобработка полученных образцов с помощью ультразвуковой ванны с использованием абразива.

Приложение:

Рис.1 – процесс изготовления стента на стадии лазрной резки

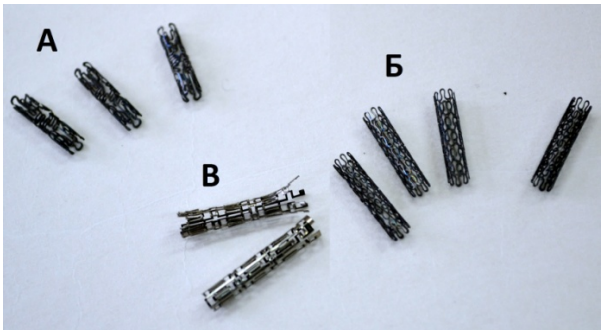


Рис.2 – заготовки различных форм после лазерной резки. Под буквой В обозначены полированные образцы. На фото можно наблюдать темные термические цвета заготовок, наличие грата и остаточных продуктов лазерной резки. На третьей слева заготовке под буквой А можно наблюдать оксидные радужные пленки.

Рис. 3 – исходный материал и выполненные заготовки.

Список литературы:

1 Лосев В. Ф., Морозова Е. Ю., Ципилев В. П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 199 с.

2 Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки – Москва: издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 664 с.

ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ FE-CR-V-MO-C

Дегтерёв А.С., Мархаева А.Р.
Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:alena.marxaeva@mail.ru

Введение

Сопротивление износу Fe-Cr-V-Mo-C сплавов высоколегированных ванадием сильно зависит от микроструктурных параметров металлической матрицы (фазового состава, соотношения фаз, их стабильности) и карбидов (типа, морфологии, объемной доли, равномерности распределения)[1]. Известно, что аустенитно-мартенситное строение матрицы, в которой аустенит склонен к фазовому переходу под нагрузкой, обеспечивает высокий уровень износостойких свойств. С другой стороны, равномерно распределенные высокодисперсные карбидные частицы равноосной формы эффективно защищают матрицу, предотвращают развитие адгезионного схватывания, не склонны к растрескиванию, выкрашиванию и также обеспечивают Fe-Cr-V-Mo-C сплавам высокую износостойкость.

В работе [1] показано, что в литой высокованадиевой HVHSS стали, содержащей 2,58 % C и 9,3 % V, подвергнутой аустенитизации и отпуску, карбиды ванадия имеют средний размер около 10 мкм. А в стали, содержащей 2,92 % C и 9,03 % V, более 50% частиц карбида ванадия больше 15 мкм в диаметре.

В [2] показано, что увеличивая скорость охлаждения при литье Fe-Cr-V-Mo-C сплава от 1,57 до 3,82 °C можно добиваться двух-трехкратного уменьшения частиц карбида ванадия (от 30…60 мкм до 5…30 мкм), некоторого увеличения их объемной доли (от 11,2 до 18,7), изменения формы от вытянутой к равноосной и повышения гомогенности их распределения.

В [3] показано, что распылением высокованадиевой стали Vanadis 4 на охлаждаемую, вращающуюся подложку можно сформировать структуру материала, содержащую значительное количество равноосных мелкодисперсных (диаметром 1…3 мкм) частиц карбида ванадия, располагающихся внутри и по границам зерен матрицы. Литая же сталь Vanadis 4 содержит в структуре крупные (длиной до 30 мкм) вытянутые вдоль границ зерен частицы VC.

Изготовление из износостойкого сплава всей детали литьем не всегда целесообразно и возможно. Потому на рабочих поверхностях деталей машин и механизмов создают слои с особым требуемым комплексом свойств. Для этого в настоящее время широко применяют технологии наплавки, среди которых особый интерес представляет наплавка концентрированными потоками энергии. К ним относят электронный луч, лазер, а так же плазменную дугу. Данные источники тепла объединены способностью распространять колоссальную энергию на минимальную поверхность, а технологии упрочнения - независимостью регулирования подачи присадочного материала от остальных параметров режима. Все это позволяет создавать покрытия, содержащие метастабильные закалочные структуры, регулировать склонность материалов к фазовым превращениям, измельчать структурные составляющие сплавов и эффективно воздействовать на их износостойкие и другие свойства.

Цель настоящей работы: провести сравнительный анализ строения Fe-Cr-V-Mo-C покрытий, полученных электронно-лучевой и плазменно-порошковой наплавками.

Материалы и методы исследования

В качестве наплавляемого материала служил промышленный порошок на основе железа ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %): 2,1…2,4 C, 17…19 Cr, 2…3 Ni, 7…8 V, 2…2,6 Mo, Fe – остальное. В качестве упрочняемых деталей выступали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм. Перед наплавкой их поверхность шлифовали.

Наплавку электронным лучом производили в вакууме с помощью установки, оборудованной порошковым дозатором, электронной пушкой с плазменным катодом и блоком развертки луча, по технологии, описанной в [4].

Плазменно порошковую наплавку осуществляли на установке УПН-303УХЛ4. Для повышения степени защиты формируемых упрочняющих слоев от негативного влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта.

В настоящей работе способ приготовления микрошлифов традиционный – механическое шлифование и механическое полирование на алмазных пастах различной дисперсности.

Анализ микроструктуры покрытий проводили на поперечных микрошлифах, вырезанных из зоны установившегося режима с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Для оценки равномерности структуры по толщине формируемых покрытий, по оси покрытий, от границы сплавления к их вершине, прокалывали дорожку уколов -маркеров алмазной пирамидой при нагрузке в 0,981 Н с шагом 300 мкм. Справа и слева от каждого маркера анализировали микроструктуру. Частицы карбида ванадия, выявляемые рельефным полированием, исследовали с приме-

нением методов дифференциального интерференционного контраста и темнопольного освещения. С помощью анализатора изображений оценивали объемные доли частиц VC, их средние диаметры, их средний фактор формы, рассчитанный как отношение ортогональной максимальной проекции частицы к максимальной проекции частицы, и число частиц, приходящихся на единицу площади шлифа (10^4 мкм^2), а также объемную долю Cr_7C_3.

Для выявления эвтектического карбида типа Cr7C3 проводили химическое травление при температуре 20 °С методом погружения образцов в реактив следующего состава: 8,3 % $K_3[Fe(CN)_6]$, 8,3 % KOH, 83,4 % H_2O. Время травления составляло 60 с.

Результаты и обсуждение

90…95 % частиц промышленного порошка ПР-Х18ФНМ имеет округлую форму, остальные удлиненную. В результате анализа микроструктуры отдельных частиц порошка, было определено их микростроение. Светлые округлые зерна матрицы диаметром 2…3 мкм окружены сеткой эвтектики, объемная доля которой составляет 30…50 %. Внутри и по границам зерен выявляются дисперсные, средним диаметром около 0,7 мкм, равноосные выделения, с фактором формы 0,79, объемной долей 14…15 % в количестве 2500…3000 штук на фиксированной площади шлифа в 10^4 мкм^2.

По данным рентгеноструктурного анализа порошок состоит из α- и γ– твердых растворов, внутри и по границам которых находятся частицы карбида ванадия. Эвтектический карбид представляет собой карбид типа Cr_7C_3. Соотношение между α- и γ- фазами равно примерно 35:65.

Технология электронно-лучевой наплавки характеризуется низкой производительностью, так как позволяет формировать упрочняющий слой высотой 4…5 мм только за 5…6 проходов. К тому же, здесь значительное время затрачивается на создание вакуума внутри камеры, ограничивающей габаритные размеры упрочняемых деталей. Напротив, плазменно-порошковая наплавка делает возможным получение покрытий высотой до 6 мм за один проход, однако высокий объем ванны расплава способствует формированию большего уровня остаточных напряжений и деформаций. Важными преимуществами плазменно-порошковой наплавки являются постоянное наличие возможности прямого доступа к упрочняемой поверхности, большая мобильность и меньшая сложность оборудования.

Покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой в зависимости от режима содержат частицы карбида ванадия средним по сечению диаметром от 1,1±0,1 до 1,5±0,2 мкм, средним фактором формы около 0,79, в количестве на фиксированной площади в 10^4 мкм^2 от 600±150 до 1000±300 штук. Средняя по сечению объемная доля частиц VC колеблется от 12,5±1 до 13,5±1,2 %, а эвтектического карбида Cr_7C_3 располагается на уровне 24±3,5 %. Необходимо отметить слоистую неоднородную структуру полученных наплавкой электронным лучом покрытий.

Упрочняющие слои, полученные плазменно-порошковой наплавкой, характеризуются большей однородностью распределения структурных составляющих. Они в зависимости от режима содержат частицы карбида ванадия средним по сечению диаметром от 1,3±0,2 до 2,2±0,2 мкм, с средним фактором формы от 0,64 до 0,81, в количестве на фиксированной площади от 150±20 до 750±100 штук, при средней объемной доле от 6,5±1 до 13,5 %. Средняя объемная доля эвтектического карбида Cr_7C_3 в них принимает значения от 9±1 до 30±3 %.

На основании вышеизложенного можно утверждать предпочтительность использования технологии плазменно-порошковой наплавки для создания покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C. Так как, с одной стороны, эта технология обеспечивает более высокую производительность, а с другой позволяет формировать микростроение упрочняющих слоев, мало отличимое от строения покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой.

Выводы:

1) Для нанесения Fe-Cr-V-Mo-C покрытий предпочтение следует отдавать технологии плазменно-порошковой наплавки, а не технологии электронно-лучевой наплавки.

2) В литых Fe-Cr-V-Mo-C сплавах карбиды ванадия могут достигать размеров порядка 30…60 мкм, в покрытиях, полученных электронно-лучевой и плазменно-порошковой наплавками – средний по сечению диаметр составляет 1,1…2,2 мкм, а в промышленном порошке - 0, 7 мкм.

Работа выполнена в рамках ГЗ “НАУКА” №862.

Список литературы:

1) Ying Ping Ji , Su Jun Wu, Liu Jie Xu , Yan Li , Shi Zhong Wei. Effect of carbon contents on dry sliding wear behavior of high vanadium high speed steel// Wear. – 2012. – No. 294–295. – P.239–245

2) Yikun Luan, Nannan Song, Yunlong Bai, Xiuhong Kang*, Dianzhong Li Effect of solidification rate on the morphology and distribution of eutectic carbides in centrifugal casting high-speed steel rolls // Journal of Materials Processing Technology. – 2010. – No.210. – P. 536–541

3) Fei Yan, Zhou Xu, Haisheng Shi, Junfei Fan. Microstructure of the spray formed Vanadis 4 steel and its ultrafine structure // Materials characterization. – 2008. – No.59. – P.592–597

4) Панин В.Е., Белюк С.И. Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий //Сварочное производство. – 2000.– №2. – С.34 –38.

НОВАЯ ГИБРИДНАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ КОРОБОКА ПЕРЕДАЧ

Массон И.А. , Лазуркевич А. В.
Научный руководитель: Пашков Е.Н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: epashkov@rambler.ru

Автомобиль является сложной механической системой, состоящей из множества деталей и устройств. Одним из неотъемлемых узлов трансмиссии автомобиля является коробка переключения передач (КПП), именно она позволяет подобрать оптимальный режим работы автомобиля в зависимости от дорожных условиях.

Наиболее распространенные виды КПП можно классифицировать по двум основным признакам: по принципу переключения и по типу механической передачи. По первому признаку КПП можно разделить на два типа: КПП с механическим или автоматическим способом выбора передач. По второму на передачи со ступенчатым и бесступенчатом регулировании скорости. Наибольшее распространение получили КПП вальной (рядной), планетарной и вариаторной схем. При этом в КПП с механическим типом переключения наибольшее применение нашли конструкции на основе рядных передач.

В КПП на основе рядных передач, повышение или понижение крутящего момента осуществляется путем подбора соответствующей пары шестерня-колесо (рис. 1).

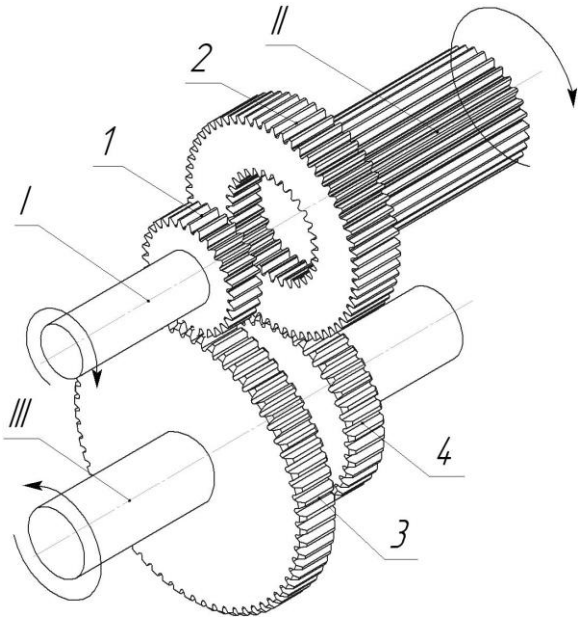


Рис. 1. Схема работы МКПП
I-первичный вал
II-вторичный вал
III- промежуточный вал
1,4 –шестерни
2,3-колеса

К основным достоинствам рядных передач можно отнести: простоту конструкции и возможность организации как автоматического, так и механического способов выбора передач. Недостатками данной схемы являются увеличение габаритных размеров в осевом направлении при увеличении числа ступеней и, как следствие, увеличение массы изделия.

Планетарные передачи наибольшее распространение в гражданском автомобилестроении получили совместно с автоматическим типом переключения (рис. 2).

Изменение передаточного числа в планетарных рядах осуществляется посредством торможения каких-либо ее звеньев. Как правило в КПП используется измененный планетарный ряд, простой планетарный ряд не используется в КПП из за малого числа ступеней.

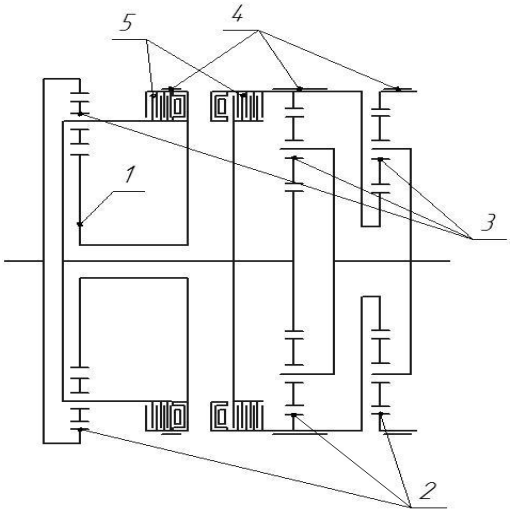


Рис. 2. Кинематическая схема автоматической коробки переключения передач.
1-солнечная шестерня
2-коронная шестерня
3-сателлиты
4- тормоз
5- сцепление

В числе основных достоинств автоматической планетарной КПП - большая комфортность в пути. Обеспечиваются благоприятные условия использования мотора, ходовой части в связи с наличием гидротрансформатора. Машины с автоматической КПП обладают повышенной проходимостью, плавностью движения.

К недостаткам автоматической планетарной КПП относятся: низкий КПД, и следовательно неэкономичность автоматической КПП, автомо-

били с автоматической КПП менее грузоподъёмные, обладают плохими динамическими характеристиками при старте, так же автоматические КПП отличает меньшая надежность и ремонтопригодностью по сравнению с механической рядной КПП.

Отдельно рассмотрим КПП на основе вариаторных передач или так называемые бесступенчатые КПП. В них передача крутящего момента осуществляется посредством сил трения (рис. 3).

Данные передачи отличаются простотой конструкции, плавностью изменения крутящего момента и комфортностью использования, однако они обладают посредственной надежностью, не приспособлены для тяжелых дорожных условии (больших нагрузок). Большинство типов вариаторных КПП обладают следующими недостатками: малым ресурсом и не ремонтопригодностью, при движении по пересеченной местности и бездорожью, однако некоторые схемы неплохо зарекомендовали себя при использовании автомобиля на дорогах с хорошим покрытием. В основном такими качествами как высокий ресурс, возможность быстрого ремонта обладают вариаторные КПП на основе клиноременной передачи, где ремень представляет из себя конструкцию из наборных стальных пластинок. После рассмотрения основных типов используемых в автомобиле строении передач можно сделать вывод, данный вид передач наиболее удобен для движения по асфальтированным дорогам при длительных переездах.

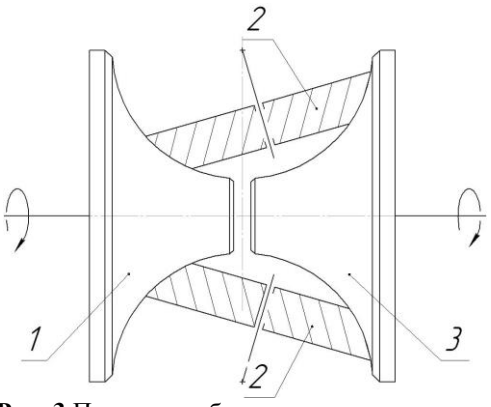


Рис. 3.Принцип работы пар трения в вариаторной передачи: 1-ведущий каток; 2-промежуточные катки; 3-ведомый каток

Рассмотрев наиболее распространенные типы КПП и увязывая их достоинства и недостатки с дорожными условиями эксплуатации полноприводных автомобилей, приходим к выводу, что наиболее оптимальным вариантом для полноприводных автомобилей при эксплуатации их в тяжелых дорожных условиях, является механическая планетарная КПП. Данный тип КПП обладает меньшими массогабаритными параметрами, способна передавать высокие крутящие моменты, обладает высокой надежностью, однако при движении с большой скоростью данная КПП будет значительно снижать КПД трансмиссии автомобиля.

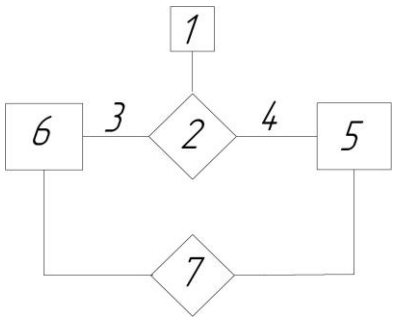


Рис.4 Блок схема предложенной гибридной КПП.

Для избавления от этого недостатка целесообразно после планетарного ряда поставить вариаторную передачу и осуществить ее включение в работу при достижении определенной скорости движения посредством механического включения. Принцип работы предложенного типа КПП представлен на рисунке 4.

Согласно блок-схеме, крутящий момент передаваемый двигателем 1 будет идти по одному из двух направлений: при движении с малой скоростью, или при движении по сложным дорожным условиям 3 передача момента будет осуществляться через планетарный ряд 6, тем самым полностью используя его достоинства, при движении с большой скоростью 4 крутящий момент будет идти в обход планетарного ряда через вариаторную передачу 5, тем самым повышая КПП всей трансмиссии в целом. После выбора оптимального типа передачи для данных дорожных условий момент будет передаваться дальнейшими устройствами на колеса автомобиля 7. Данная схема позволяет использовать перечисленные достоинства и недостатки обоих типов передач.

Литература.

1. Гольд Б.В. Конструирование и расчет автомобиля//МАШГИЗ.-1962.-№2-С.461.

2. Леонов А.И., Дубровский А.Ф., Механические бесступенчатые нефрикционные передачи непрерывного действия//М.: Машиностроение.-1984.-С.192-ил.

3. Синтез планетарных передач без избыточных связей/ Инновации машиностроения: сборник трудов международной молодежной конференции.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета,2012.-459 с.

4. Евсеенко И.А. Снижение динамической нагруженности элементов в контуре циркуляции мощности планетарной коробки передач автомобиля // Вестник машиностроения. – 2011. – Т. 316. – № 3. – С. 14–18.

5. Фасхиев Х.А. Кинематический расчет дифференциального механизма автоматической коробки передач // Вестник машиностроения. – 2012. – Т. 316. – № 2. – С. 21–27.

ВЛИЯНИЕ МНОГОПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10Р6М5

Мищенко Е.С.
Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: gnusov@rambler.ru

Введение. В настоящее время широкое распространение получили методы обработки поверхностей концентрированными потоками энергии (КПЭ) [1]. Скорость охлаждения наплавки при использование данных методов составляет от ~10^4 до ~ 10^9 К/с. Такая обработка обеспечивает толщину упрочненных слоев не превышающих нескольких микрон. Однако в ряде случаев требуется создание значительного по толщине упрочненного слоя, обладающего более высокими механическими свойствами, чем основной объем материала.

Источником КПЭ в работе является электронный луч в вакууме. Данная технология имеет ряд преимуществ: возможность подачи композиционного наплавочного материала в ванну расплава; вакуумная среда рафинирует материал; плавная и точная регулировка мощности электронного луча, что означает, незначительное проплавление основы и неизменность химический состав; малый размер ванны расплава (100 мм^2) способствует концентрированному вводу энергии до 10^5 Вт/см^2, а значительный перегрев ванны приводит к растворению твердых частиц в сварочной ванне, также формируется перенасыщенный твердый раствор легирующих элементов в матрице, за счет быстрого теплоотвода легирующих элементов в матрице и способствуют получению многомодальной структуры наплавляемого слоя [2]. Учитывая данные преимущества, электронно-лучевая наплавка в вакууме может применяться после финишной термической обработки изделий.

Для формирования толстого покрытия необходимо несколько проходов электронного луча. В результате термоциклирования, дисперсные карбидные фазы выделяются из перенасыщенного твердого раствора матрицы, что в свою очередь будет влиять на ее структурно-фазовый состав и, следовательно, свойства композиционного покрытия в целом [3].

Целью настоящей работы является изучение влияния многопроходной наплавки порошком стали Р6М5 на структуру и микротвердость покрытия.

Материалы и методы исследования. *Технология наплавки*. Технология электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) в вакууме основана на явлении «вмораживания» металлического порошка в ванну расплава. Наплавка материала ведется электронным лучом с линейной разверткой [4]. Для (ЭЛН) в вакууме (остаточное парциальное давление не менее 0,013Па) использовался порошок быстрорежущей стали 10Р6М5 дисперсностью 50…350 мкм, полученный распылением расплава в воду, производства ОАО "Тулачермет". В качестве основного металла (подложки) использовали пластины из Стали 20 размером 20×300 мм и толщиной 5 мм. Мощность электронного луча с увеличением числа проходов от 1 до 3 уменьшалась от 4050 до 1800 Вт, а да далее с ростом числа проходов (до 18) не изменялась. Более высокая мощность на первых проходах необходима для прогрева подложки. Диаметр электронного луча в 1 мм, длина развертки в 1,3 мм, а также скорость движения подложки в 2,8 мм/с не изменялись.

Анализ структуры покрытий. Исследование структуры покрытий после наплавки проводили с помощью оптического микроскопа (ОМ) *Olympus GX 51*. Микротвердость (H_μ) покрытий и основного металла, непосредственно прилегающих к наплавке (2 мм), измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0,981 Н. Уколы расположены со смещением на 50 мкм на двух параллельных дорожках, расстояние между которыми 200 мкм. По результатам измерений строится график измерения Нμ по толщине с шагом 50 мкм.

Результаты и обсуждение. При анализе макроструктуры покрытий на границе сплавления с основным металлом встречаются отдельные крупные поры, в самом покрытии трещин и пор не фиксируется. При малом числе проходов (3 и 6) наблюдается различная травимость металла покрытия при переходе от слоя к слою, далее с увеличением проходов до 18 данные изменения не фиксируются. Матрица представляет собой мартенситно-аустенитную смесь. В ходе анализа рассматривалось воздействие последующих проходов электронного луча на предыдущие наплавленные слои. При малом числе проходов формируется сетка эвтектических карбидов, которые с увеличением числа проходов электронного луча постепенно изменяют свою структуру (коагулируют). Внутри зерен матрицы наблюдаются дисперсные выделения вторичного карбида типа M_6C. Количество вторичного карбида увеличивается с увеличением термоциклирования. Более дисперсные карбиды M_6C и VC, которые согласно [5] выделяются в

подобных покрытиях оптической микроскопией не фиксируются. Следовательно, в условиях многопроходной наплавки формируется мультимодальное распределение карбидной фазы по размерам.

Металл, наплавленный на последних проходах, представляет собой сетку эвтектических карбидов. Мартенситная фаза с увеличением числа проходов электронного луча становятся более грубая (от мелкодисперсного (бесструктурного)) мартенсита до крупных игл, распространяющихся через все аустенитное зерно.

Объемная доля мартенсита увеличивается с ростом числа проходов. Это связано с термоциклированием покрытия при многопроходной наплавке, что обеспечивает частичную релаксацию термических напряжений и, как следствие, дополнительное мартенситное превращение в ранее наплавленных слоях. Данное обстоятельство приводит к постепенному росту средней величины микротвердости исследуемых покрытий (рис. 3). С увеличением числа проходов распределение твердости становится однороднее по толщине, и ее среднее значение растет от ~5950 до ~7700 МПа.

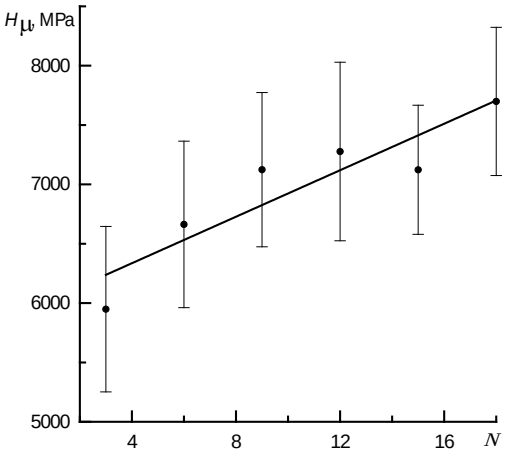


Рис. 3. Влияние числа проходов (N) электронного луча на величину микротвердости (H_μ) покрытий

Выводы. Установлено, что с увеличением числа проходов электронного луча формируется мультимодальное распределение карбидов по размерам. Матрица представляет собой мартенситно-аустенитную смесь. Мартенситная фаза с увеличением числа проходов электронного луча изменяется от мелкодисперсного (бесструктурного) до крупноигольчатого. Количество мартенсита увеличивается с ростом числа проходов, что приводит к постепенному росту средней величины микротвердости исследуемых покрытий от ~5950 до ~7700 МПа и более однородному ее распределению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клебанов Ю.Д., Григорьев С.Н. Физические основы применения концентрированных потоков энергии в технологиях обработки материалов – М.: ИЦ МГТУ “Станкин”, Янус-К. 2005. – 220 с.

2. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г., Маков Д.А. Формирование износостойких аустенитных покрытий с регулируемым карбидным упрочнением. – ФиХОМ. – 2004. – №6. – С. 54–60.

3. Guilemany J.M., Dosta S., Miguel J.R. The enhancement of the properties of WC-Co HVOF coatings through the use of nanostructured and microstructured feedstock powders. – Surface & Coatings Technology. – 2006. – V.201. – pp. 1180–1190.

4. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий. – Сварочное производство. – 2000. – №2. – С. 34–38.

5. Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G., Tarasov S.Yu. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel. – Applied Surface Science. – 2012. – V.263. – pp. 215–222.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ № 862. 2014.

АТТРАКЦИОНЫ С МУСКУЛЬНОЙ ТЯГОЙ

Мищенко И.С., Соколов А.П.
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30
Email: ivansergeevichmischenko@gmail.com

В настоящее время большое внимание уделяется аттракционам, их разработке и изготовлению. Изобретатели и дизайнеры стремятся привлечь внимание потенциальных пользователей данных аттракционов. Изобретатели предлагают устройства, которые могут быть доведены до работоспособных образцов, но не всегда они популярны.

Целью данной работы является определение основных факторов, влияющих на популярность разрабатываемых аттракционов.

Целесообразным представляется провести классификацию аттракционов, выбрав в качестве основного критерия развлекательность. Учитывая современную проблему, вызванную недостатком физических движений, основное внимание уделяется аттракционам с использованием мускульной силы. Близкой областью в этом случае являются спортивные снаряды, поэтому при проведении анализа учитывается опыт совершенствования устройств спортивного назначения.

Критерий развлекательности является обобщающим. В нём можно выделить как минимум четыре элемента: 1) разнообразие и неожиданность движения; 2) физические ощущения; 3) свобода траектории движения; 4) состязательность. С учётом выделенных элементов и будем анализировать аттракционы на мускульной силе.

Начнём с наиболее известных: качели и карусели. Качели позволяют получить ощущение перегрузки и кратковременной невесомости. Кроме того, их развлекательность может быть увеличена за счёт состязательности, выражающейся в достижении наибольшего угла отклонения от состояния равновесия. Развитие качелей привело к созданию тренажёра, на котором можно колебательное движение превратить во вращательное. На этом тренажёре осуществляется тренировка вестибулярного аппарата. К недостаткам качелей относятся: однообразие движения и несвобода его траектории.

Карусель на мускульной тяге проигрывает качелям по всем элементам развлекательности. По непонятным причинам этот вид аттракционов не развивается, возможно, из-за сложности создания движителя на мускульной тяге. Однако, при современном уровне развития технологий можно изготовить любой движитель, и дело только за изобретательскими идеями.

Всех четырёх элементов развлекательности позволяет достичь аттракцион, выполненный на основе двухколёсного велосипеда [1]. От обычного велосипеда его отличает связь руля с вилкой переднего колеса посредством двух шестерён. Одна шестерня неподвижно соединена с рулём, а другая шестерня неподвижно соединена с вилкой переднего колеса. Благодаря образующемуся зубчатому зацеплению поворот руля в одну сторону ведёт к повороту колеса в другую сторону. Для неопытного участника данного аттракциона повернуть руль в нужную сторону при прохождении, например, петляющей трассы будет непросто. Именно благодаря такому конструктивному элементу данный аттракцион имеет высокую развлекательность. Вместе с этим аттракцион относительно прост в эксплуатации и не требует специальных помещений.

В стремлении достичь новых физических ощущений изобретатели аттракционов обращают внимание на движение по вертикали. Интересно в этом плане устройство [2]. Суть его работы заключается в перемещении человека, расположенного на сидении, вдоль вертикальной направляющей с помощью педального привода с редуктором. Скорость перемещения человека напрямую зависит от интенсивности вращения педалей. Изобретение довольно интересно, но вопрос о его развлекательности спорен. Если же мы, например, добавим механизм определения максимальной скорости или удвоим число таких аппаратов, то возможно устраивать небольшие соревнования, или же развлекающийся сможет соревноваться в одиночку, улучшая свои результаты с каждым разом. Это ставит развлекательные качества устройства на порядок выше. Недостаток данного устройства заключается в необходимости преодоления силы тяжести, что снижает развлекательный эффект аттракциона.

Влияние сил тяжести можно снизить за счёт применения различных накопителей энергии – рекуператоров. Рекуператоры могут накапливать кинетическую энергию или потенциальную. Например, в устройстве [3] накопителем потенциальной энергии является груз, связанный системой тросов и блоков с кабиной, в которой расположен человек. Представляется перспективным использование накопителей кинетической энергии в аттракционах на мускульной тяге.

Самым интересным физическим ощущением для человека является ощущение полёта. Оно реализуется за счёт устройства, основу которого составляет велосипед с конструкцией с крыльями. Человек при нулевом угле атаки крыльев разгоняется до максимальной скорости, а за тем увеличивает угол атаки крыльев до максимального возможного значения и отрывается от земли. Всего 5 секунд полёта, зато на аттракционе с мускульной тягой.

Интересным направлением развития аттракционов с мускульной тягой является увеличение свободы в выборе траектории движения. Усовершен-

ствование широко известной игрушки в виде коняка-качалки приводит к созданию устройства из двух коней-качалок, соединённых шарнирно друг с другом и имеющих упругую связь. Такая конструкция позволяет перемещаться по горизонтальной поверхности, совершая колебательные движения.

Развитием указанной идеи является устройство [4], схема которого изображена на рис.1.

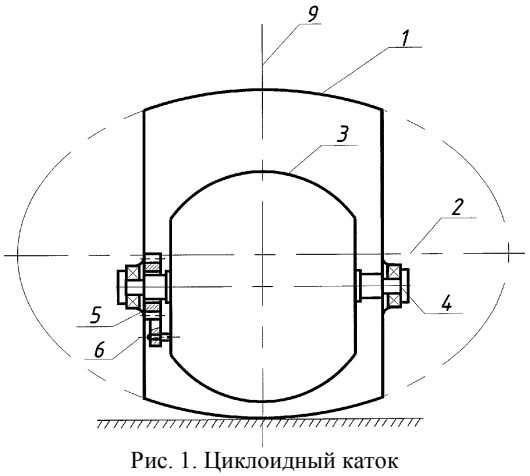


Рис. 1. Циклоидный каток

Техническая задача предлагаемого устройства заключается в расширении диапазона видов движения. Задача решается тем, что внутри циклоидного катка 1, выполненного в виде жесткого корпуса в форме усеченного эллипсоида с осью 2, расположена кабина 3 для пассажира, которая соединена с жестким корпусом с возможностью вращения относительно него вокруг оси 4, причем ось вращения кабины расположена параллельно и ниже оси вращения жесткого корпуса, а между кабиной и жестким корпусом установлен храповой механизм с колесом 5 и храповиком 6. Пассажир, раскачивая кабину относительно катка, приводит каток в движение. Смещая центр своей тяжести относительно оси 9, пассажир изменяет траекторию движения.

Отдельное место среди аттракционов занимают аппараты, развивающие человека. Задача инженера – создать конструкцию, в полной мере способную развивать навыки, качества, мышечный аппарат человека.

Эта область изобретательства тесно связана с конструированием спортивного оборудования и инвентаря. А иногда аттракционы и развлечения ложатся в основу полноценных видов спорта. Одним из самых ярких примеров является бобслей. Известно, что был изобретен этот вид спорта в Швейцарском Сант-Морице в 1888 году, когда предприимчивый владелец отеля Каспар Бадрутт впервые соединил доской двое саней для того, чтобы спуститься со снежной горы. Немногим позже, в конце 19в. в этом городке был организован первый бобслейный клуб и разработаны правила соревнований. Так развлечение для туристов превратилось во вполне серьезный вид спорта, включенный даже в Олимпийскую программу. Интересна и история изобретения сноуборда в недалёком 1965г. Человек, любивший сёрфинг, от скуки решил соединить несколько лыж при помощи шпонок и покататься по снежным холмам как по волнам. Из аттракциона можно сделать спорт, добавив несколько правил в его использовании и включив возможность соревнования с другими его пользователями.

Таблица

Переход от аттракциона к спорту

Аттракцион	Год	Вид спорта
Сани для спуска со снежной горы	1888	Бобслей, санный спорт, скелетон
Соединение нескольких лыж и катание на получившейся доске	1965	Сноуборд
Трамплин для прыжков на лыжах	1862	Прыжки на лыжах с трамплина (Ski Jumping)
Железные коньки	13-14 вв.	Фигурное катание, конькобежный спорт
Велосипед	1869	Велосипедный спорт
Батут	1948	Прыжки на батуте

Выводы

1. В критерии развлекательности рационально выделить четыре элемента: 1) разнообразие и неожиданность движения; 2) физические ощущения; 3) свобода траектории движения; 4) состязательность. Это позволяет более эффективно классифицировать аттракционы на мускульной тяге и, как следствие, пути их совершенствования.
2. Перспективно использование накопителей энергии в аттракционах на мускульной тяге.
3. Аттракционы на мускульной тяге генерируют создание новых видов спорта.

Список литературы

1. Пат. 8264, Российская федерация, МПК A63G1/22 Велоаттракцион/ Айвазян А.С.; опубл. 16.11.1998.
2. Пат. 2050900, Российская федерация, МПК A63G1/22 Велоаттракцион/ Лодус Е.В., Лодус О.Е., Линецкий А.П.; опубл. 27.12.1995.
3. Пат. 2430766, Российская федерация, МПК A63G1/46 (2006.01) Вертолетный аттракцион/ Павлюсюк М.А., Цыган В.А.; опубл. 10.10.2011.
4. Пат. 87095, Российская федерация, МПК A63G31/00 (2006.01) Циклоидный каток/ Соколов А.П., Унковская А.А., Лычагин А.Д.; опубл. 27.09.2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХОНИНГОВАНИЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ГИЛЬЗ ДВИГАТЕЛЕЙ

Полянчикова М. Ю.
Научный руководитель: Полянчиков Ю. Н., д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,
400005, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, 28
E-mail:MUPolyan4ikova@yandex.ru

В современных условиях острого дефицита сельскохозяйственной техники для фермерских хозяйств России в связи с ее интенсивным старением и снижением способности обновления машинно-тракторного парка, существенное значение приобретает максимальное использование современных эффективных технологий по восстановлению этой техники взамен приобретения новой.

Установлено [1, 45; 2, 4], что при дефектации списанных тракторов до 25% деталей подлежат выбраковке, 40 – 45% пригодны для дальнейшего использования и 30 – 45% – для восстановления. Себестоимость восстановленных деталей не превышает 50 – 70% цены новых, а ресурс составляет 80 – 90%.

Большое развитие получила система восстановительного ремонта и продажи подержанной техники на вторичном рынке США, Германии и других стран[2].

Большое значение при ремонте сельскохозяйственной техники имеет восстановление наиболее ответственных высокоточных и потому самых «дорогих» деталей, к которым, в частности, относятся гильзы цилиндров двигателей.

В последнее время значительно уменьшились интервалы ремонтных размеров, в которые должны входить достигнутые при восстановлении диаметры гильз двигателей. Кроме того, при эксплуатации двигателей значительно возрастает погрешность формы гильзы в продольном сечении – конусообразность.

При современных методах восстановления гильз, основным из которых является хонингование, устранение конусообразности приводит к увеличению диаметра гильзы как при вершине конуса, так и при его основании.

Это приводит к тому, что уменьшение погрешности при вершине конуса влечет за собой выход размеров гильзы и при основании конуса за пределы ремонтных размеров. В таких случаях восстановление становится малоэффективным и гильзу после восстановления необходимо менять на новую, что значительно удорожает стоимость восстановления всего двигателя.

Для исключения этого недостатка исследователями кафедры «Технология машиностроения» ВолгГТУ предлагается более эффективный способ восстановления гильз цилиндров двигателей, использующий новый способ хонингования [3] с его модернизацией для условий восстановления гильз любого диаметра и длины с различной величиной конусообразности.

Модернизация способа хонингования [3] заключается в том, что на участке гильзы по ее длине, где необходимо снять повышенный припуск (вершина конуса), увеличивается скорость резания и, следовательно, интенсивность съема, а на остальных участках она снижается.

Такое увеличение съема происходит при каждом рабочем ходе хонинговальной головки, направленном (в зависимости от схемы установки гильзы на станке) к вершине конуса, а при обратном ходе хонголовки скорость резания уменьшается и, соответственно, величина снимаемого металла снижается.

На рис.1. представлены зависимости суммарной удельной производительности ($\Sigma Q_м$) от зернистости абразивного инструмента за цикл хонингования 300 с. при обработке с постоянной (а) и переменной (б) скоростью вращения хонинговальной головки.

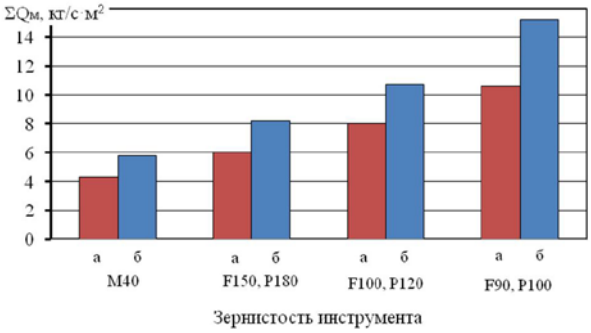


Рис. 1. Зависимость суммарной удельной производительности (ΣQм) от зернистости абразивного инструмента

Особенностью нового способа хонингования является также то, что для исключения попадания режущего зерна хонинговального бруска в ранее прорезанную им же самим канавку величина изменения скорости резания при прямом и обратном ходе абразивного инструмента различна.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 3.18, свидетельствует о том, что обработка по принципу «неповторяющегося следа», осуществляемая при хонинговании с переменной по высоте гильзы скоростью вращения хонинговальной головки, позволяет увеличить съем металла на участке с меньшим диаметром (вершина конусообразности) в среднем

в 1,5 раза по сравнению с участком гильзы, требующим меньшей интенсивности съема.

В результате, при обработке абразивное зерно проходит каждый раз по новой траектории, уменьшая при этом риски-царапины не только по глубине, но и по количеству. Таким образом, качество поверхности, характеризуемое параметрами шероховатости, значительно возрастает.

Разнообразие формы микронеровносией и различие в структуре микропрофиля поверхностей, обработанных различными методами и на разных режимах, предопределяют поведение поверхности при контактировании, трении и износе. Этим объясняются те факты, когда поверхности, обработанные одним методом, но на различных режимах, а тем более различными методами (при одинаковых значениях Ra и Rz) имеют различную износостойкость, гидроплотность, контактную жесткость, сопротивление усталости и т.д. при одних и тех же параметрах эксплуатации.

При проведении исследований был проведен анализ качества поверхности после обработки методом хонингования с управляемой скоростью при использовании абразивных (рис. 2) и алмазных (рис. 3) брусков. По данным профилограмм, снятых с обработанных поверхностей, построены относительные опорные длины профиля (t_p).

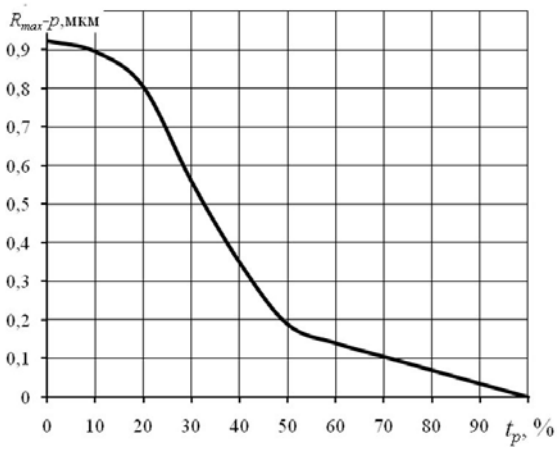


Рис.2. Относительная опорная длина профиля поверхности гильзы после хонингования алмазным инструментом АСВ 40/28 – МВ1 – 100%

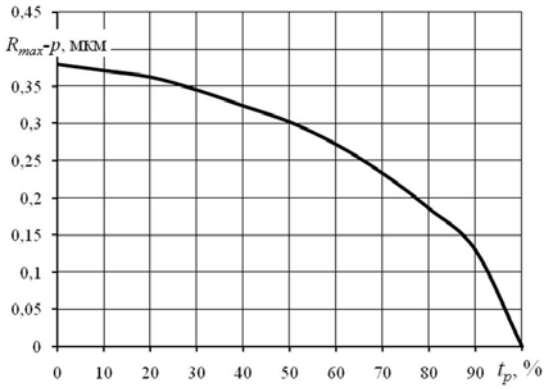


Рис. 3. Относительная опорная длина профиля поверхности гильзы после хонингования модифицированным однокомпонентным абразивным инструментом зернистостью М40

Приведенные кривые также подтверждают вывод о том, что поверхности гильз двигателей, обработанных модифицированным однокомпонентным абразивным инструментом, обладают большей сплошностью, большим радиусом закругления глубины впадины микрорельефа, что свидетельствует о большей несущей способности поверхности и ее большем сроке эксплуатации

Экспериментальные исследования и условия производственного внедрения новых способов восстановления позволили существенно повысить количество гильз, используемых после восстановления для дальнейшей эксплуатации на 67% (против 17% гильз, для восстановления которых применяются традиционные методы хонингования).

Исследования выполнены за счет средств гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК – 2013, тема № МК-2538.2013.8)

Литература

1. Антропов, Б. С. Диагностирование деталей цилиндро-поршневой группы / Б. С. Антропов, Р. И. Бестаев // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2006. – № 9. – С. 45-46.

2. Бабкин, К. А. Сельхозмашиностроение России – 2006: итоги и прогнозы / К. А. Бабкин // Тракторы и сельскохозяйственный машины. – 2007. – № 5. – С. 3-7.

3. Пат. 2305620 Российская Федерация, МПК В 24 В 1/00 (2006. 01), В 24 В 33/02 (2006.01). Способ обработки отверстий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова. – Опубл. 10.09.2007, Бюлл. № 25.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТОГО НАСОСА НШН-600

Пономарев А.В.,
Научный руководитель: Мартюшев Н.В., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

При выборе насосного оборудования необходимо принять во внимание целый ряд факторов, в число которых входят цель использования насоса, объем перекачиваемой жидкости, физические и химические свойства перекачиваемой жидкости и условия эксплуатации насоса. Для решения этих задач существует множество разновидностей насосов с различными техническими характеристиками. Самое главное — правильно подобрать насос для своих целей. В рамках данной работы был рассмотрен шестеренчатый насос с внутренним зацеплением зубьев.

Свое название шестеренчатые насосы получили по той причине, что его неотъемлемыми органами являются шестерни, в основном эвольвентного зацепления с косыми, прямыми и шевронными зубьями. Шестерни установлены на ведущем и ведомом валах, соединенных муфтой с электродвигателем. Шестеренные насосы НШН и насосы НМШ бывают с внутренним или внешним зацеплением шестерен.

Принцип действия шестеренного насоса с внешним зацеплением состоит в следующем. Ведущая шестерня находится в постоянном зацеплении с ведомой и приводит её во вращательное движение. При вращении шестерён насоса в противоположные стороны в полости всасывания зубья, выходя из зацепления, образуют разрежение (вакуум). За счёт этого из гидробака в полость всасывания поступает рабочая жидкость, которая, заполняя впадины между зубьями обеих шестерён, перемещается зубьями вдоль цилиндрических стенок колодцев в корпусе и переносится из полости всасывания в полость нагнетания, где зубья шестерён, входя в зацепление, выталкивают жидкость из впадин в нагнетательный трубопровод. При этом между зубьями образуется плотный контакт, вследствие чего обратный перенос жидкости из полости нагнетания в полость всасывания ничтожен. Смазка движущихся элементов насоса производится перекачиваемой жидкостью (масло, расплав полимера и др.), для поступления смазывающей жидкости к зонам трения конструкцией насоса предусматриваются специальные каналы в корпусных деталях насоса.

Область применения шестеренчатых насосов необычайно широка. Они отлично зарекомендовали себя как для перекачки низковязких жидкостей, так и высоковязких, от шоколада до топлива и масла. Шестеренчатые насосы имеют прочную конструкцию для обеспечения долгого срока эксплуатации. В рамках нефтехимической отрасли шестеренчатые насосы имеют весьма широкое применение в областях, связанных с продуктами нефтехимической промышленности. Высокопроизводительные насосы можно использовать для загрузки и разгрузки цистерн, для транспортировки минерального масла, асфальта, асфальтовой эмульсии. Насосы с меньшей производительностью могут работать при перекачке этих жидкостей между емкостями.

Основные преимущества шестеренчатых насосов заключаются в простоте их конструкции, в их способности работать при высокой частоте вращения, в их высокой надежности при работе. Также они обеспечивают равномерную подачу жидкости. Основные недостатки шестеренчатых насосов заключаются в нерегулируемости рабочего объёма, в высоких требованиях к качеству изготовления шестерен и пластин, образующих корпус. Также, стоит принять во внимание тот факт, что стоимость насоса резко повышается, если необходимо обеспечить надежность работы насоса при давлениях свыше 30 МПа. Для обеспечения работы при высоких давлениях необходимо использовать дорогостоящие материалы для изготовления шестерен и валов.

Анализ надежности работы шестеренчатых насосов был проведен на примере насоса НШН-600, хорошо зарекомендовавшего себя при тушении пожаров. НШН-600 предназначен для подачи пресной воды с содержанием твердых включений не более 0,5% по массе при тушении пожаров и для иных хозяйственных нужд. НШН-600 способен обеспечивать не только подачу пресной воды, но и различных водных растворов на основе реагентов или полимеров, смягчающих воду и образующих пену. Это позволяет не только потушить пожар, но и защитить от открытого пламени близлежащие объекты. Шестеренный навесной насос НШН-600 предназначен для установки на бампер автомобиля или трактора и в основном крепится к пожарной технике. Насос НШН может быть установлен на бамперах шасси таких автомобилей, как ГАЗ-51, ЗИЛ-130, ГАЗ-53, а также трактора Т-40. В действие оборудование приводит храповик коленчатого вала двигателя транспортного средства.

Основные технические характеристики насоса, размеры его элементов и масса представлены в табл.

Табл.1

Наименование	НШН-600
Производительность, об/мин, не менее	600
Наибольшая геометрическая высота всасывания, м	6,5
Внутренний диаметр всасывающего патрубка, мм	74
Внутренний диаметр напорного патрубка, мм	62
Рабочее давление, МПа	0,45
Масса, кг	30
Габаритные размеры, мм	350x310x240

Насос состоит из следующих составных элементов (Рис.1):

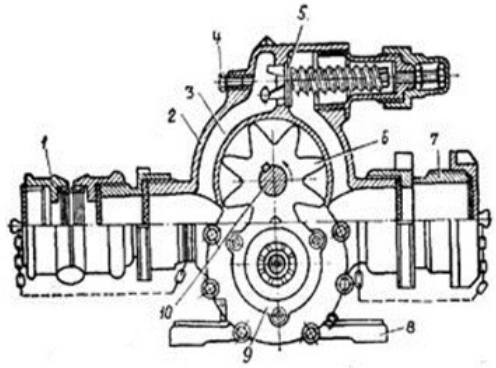


Рис.1 Схема насоса НШН-600.

1. Напорный патрубок.
2. Корпус насоса.
3. Соединительный канал.
4. Заглушка.
5. Предохранительный клапан.
6. Шестерня.
7. Всасывающий патрубок.
8. Основание.
9. Крышка.
10. Ведомый вал.

Корпус насоса НШН-600 отлит из чугуна, имеет две внутренние цилиндрические расточки, всасывающий и напорный патрубки с соединительным каналом, основа с лапами отверстиями. В цилиндрических расточках размещаются две стальные шестерни с одинаковым числом зубьев эвольвентного профиля. Шестерни крепятся на ведущем и ведомом валах, опорами которых есть шарикоподшипники. Соединительный канал всасывающего и напорного патрубков запирается предохранительным клапаном, при повышении напора (в случае залома рукавной линии или перекрытия крана в стволе) открывается и обеспечивает переток воды из напорной полости насоса во всасывающую. В верхней части корпуса насоса НШН-600 имеются два резьбовых отверстия, одно из которых сообщается с напорной полостью насоса и в него может быть ввернут манометр, другое - с всасывающей полостью, и его можно использовать для установки мановакуумметра или для заливки воды в полость насоса и всасывающий рукав. Корпус насоса с обеих сторон закрывается крышками, в которых имеются гнезда для шарикоподшипников и армированных резиновых сальников. Сальники сохраняют подшипники от попадания в них воды из корпуса насоса. Смазка подшипников осуществляется через две пресс-масленки, установленные на крышках насоса. Соединение корпуса насоса с крышками бесшовное, герметичность обеспечивается затягиванием гаек и шпилек. Зазор в пределах от 0,08 до 0,18 мм между торцами шестерен и крышкой корпуса дает возможность получить достаточно высокий вакуум для подсоса воды.

В заключении можно сделать вывод, что шестеренчатые насосы обеспечивают очень высокую надежность и качество выполнения работы при применении по своему прямому назначению – перекачке низко- и высоковязких жидкостей с содержанием примесей не более 0,5% из одного резервуара в другой, а также при использовании их для тушения пожаров. Простая конструкция шестеренчатого насоса позволяет осуществлять надежную работу и обслуживание при различных технических условиях его эксплуатации.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА ДЛЯ РУЧНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОБУР С РЕДУКТОРОМ С ПТК

Разумов С.В.
Научный руководитель: Коротков В.С., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
inzagi@sibmail.com

Введение

Обоснование параметров ручной машины (РМ) электробур произведено в [1]. На этом основании разработан вариант конструкции привода РМ с волновой передачей с промежуточными телами качения с нагруженным сепаратором. С целью обеспечения условия сборки редуктора произведен размерный анализ конструкции методом, обеспечивающим полную взаимозаменяемость (метод максимума-минимума) [2]. В статье описан один вариант конструкции, хотя возможны и другие решения, каждое из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Разработка конструкции привода для РМ электробур

На рис.1 представлен привод на базе коллекторного двигателя 1 с потребляемой мощностью 1,1 кВт, частотой вращения якоря 15000 об/мин, с волновым редуктором с промежуточными телами качения (ПТК) с передаточным числом U=59. На валу двигателя установлены две эксцентриковые втулки с e=0,625 мм. На втулки 2 посажены радиальные шариковые подшипники 3 с небольшим гарантированным натягом. Наружные кольца подшипников образуют соединения с дисками генератора волн 4, которые взаимодействуют с роликами 5 с d=2,5 мм и перемещают их по эпициклоиде профиля неподвижного колеса 6.

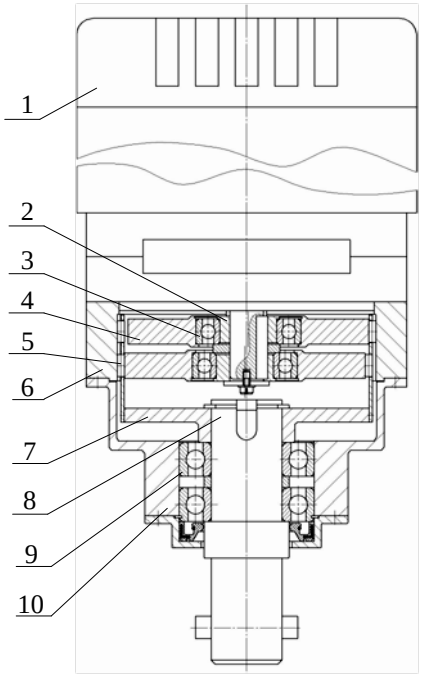


Рис.1. Привод электробура с редуктором с ПТК.

Крутящий момент снимается с сепаратора 7, в пазах которого на равном расстоянии друг от друга находятся ролики. С сепаратором посредством шпонки соединен выходной вал 8, который в свою очередь установлен на двух шариковых подшипниках 9, размещенных в корпусе редуктора 10.

На рис.2 представлена размерная цепь редуктора с ПТК. Необходимо назначить допуски на составляющие звенья, если известны их номинальные размеры, а также предельные размеры замыкающего звена.

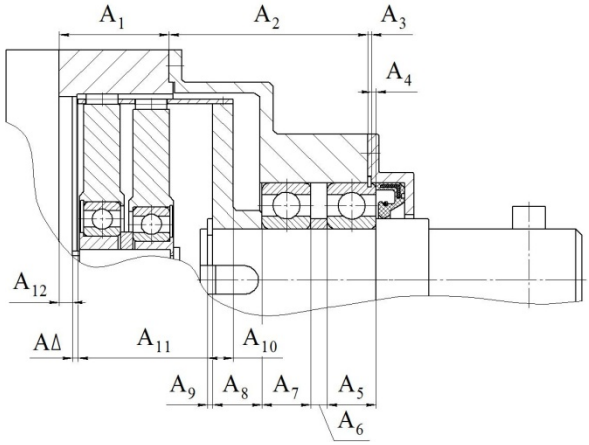


Рис.2. Размерная цепь редуктора с ПТК.

Номинальные размеры деталей установлены в результате расчета силовых и геометрических параметров редуктора. Зазор между торцом сепаратора и подшипниковым щитом двигателя должен находиться в пределах 1,5…2,5 мм. Расчет размерной цепи производим в осевом направлении. Для этого строим схему размерной цепи (рис.3) и выделяем увеличивающие и уменьшающие звенья.

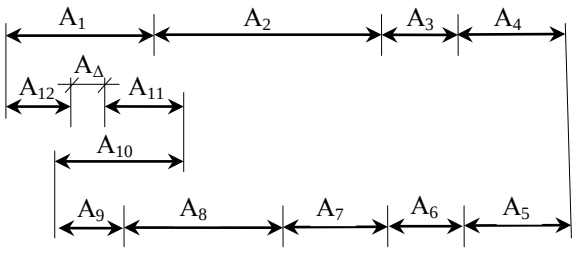


Рис.3. Схема размерной цепи.

Номинальные размеры составляющих звеньев не попадают в один нормированный интервал значений (см. табл.2), поэтому допуски на них назначаем из одного ряда точности (по одному квалитету). Для этого рассчитываем число единиц допуска «а» по формуле:

$$a = TA\Delta / \Sigma i,$$

где ТАΔ – допуск замыкающего звена, i-единица допуска.

Значение единицы допуска определяем по таблице [2, с.20] или расчетом для каждого размера по формуле:

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{A_i} + 0{,}001A_i, \text{мкм}$$

Σi = 11,68 мкм, тогда:

a = (2500-1500)/11,68 ≈ 86.

По источнику [3, с.22] определяем квалитет, по которому назначаем допуски на составляющие звенья размерной цепи, кроме звеньев готовых изделий, допуски на которые изменять не целесообразно (подшипники, стопорные кольца и др.). По 10 квалитету: A_1 = 84 мкм, A_2 = 100 мкм, A_6 =48 мкм, A_8 =70 мкм, A_{10} =58 мкм, A_{11}=100мкм, A_{12}=48мкм.

Проверяем условие: TAΔ = ΣTAi.

2500-1500=84+100+100+15+100+48+100+70+100+ +58+100+48,

1000≠923, допуски занижены.

Проводим волевую корректировку и назначаем на звено A_2 допуск по 11 квалитету A_2=160 мкм, т.к. это звено наиболее сложное в изготовлении, а оставшуюся часть 17 мкм добавляем к A_1. Тогда A_1 = 84+17=101 мкм.

Еще раз проводим проверку условия:

1000=101+160+100+15+100+48+100+70+100+ +58+100+48,

1000=1000, допуски назначены верно.

Затем определяем номинальный размер замыкающего звена:

$$A\Delta_н = \Sigma A_{увн} - \Sigma A_{умн},$$

$A\Delta_н$ =1,5 мм, тогда запишем:

$$A\Delta = 1{,}5^{+1}$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена:

$$C\Delta = [ES\Delta - EI\Delta]/2,$$

$C\Delta$ =[1000-0]/2=500 мкм = +0,5 мм.

Определяем координаты середины поля допуска для всех составляющих звеньев, кроме одного A_6.

Расчетные значения сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Координаты середины поля допуска составляющих звеньев размерной цепи, кроме C_6.

Увеличивающие звенья, мм		**Уменьшающие звенья, мм**		**Замыкающее звено, мм**	
C_1	- 0,0505	**C_5**	- 0,050	**C_Δ**	+ 0,5
C_2	- 0,080	**C_7**	- 0,050		
C_3	- 0,050	**C_8**	- 0,035		
C_4	0	**C_9**	- 0,050		
C_{10}	- 0,029	**C_{11}**	- 0,050		
		C_{12}	0		

Из уравнения с одним неизвестным находим координату середины поля допуска C_6:

$$C\Delta = \Sigma C_{ув} - \Sigma C_{ум}$$

$$C_6 = -0{,}4745 \text{ мм}.$$

Допуски для охватываемых и охватывающих размеров назначаем в «тело» детали, для полуоткрытых размеров только половина поля допуска задается в деталь. Допуск на звено A_6 устанавливаем относительно середины поля допуска. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Номинальные размеры с предельными отклонениями всех звеньев размерной цепи.

Увеличивающие звенья, мм		**Уменьшающие звенья, мм**		**Замыкающее звено, мм**	
A_1	$28_{-0,101}$	**A_5**	$12_{-0,100}$	**A_Δ**	1,5…2,5
A_2	$48_{-0,160}$	**A_6**	$4^{-0,4505}_{-0,4985}$		
A_3	$0{,}85_{-0,100}$	**A_7**	$12_{-0,100}$		
A_4	$1{,}6^{+0,0075}_{-0,0075}$	**A_8**	$12_{-0,070}$		
A_{10}	$6{,}25_{-0,058}$	**A_9**	$1{,}2_{-0,100}$		
		A_{11}	$38_{-0,100}$		
		A_{12}	$4^{+0,024}_{-0,024}$		

Правильность назначения допусков на составляющие звенья размерной цепи подтверждается проверкой:

$$A_{\Delta max} = \sum A_{ув_max} - \sum A_{ум_min};$$

$$A_{\Delta min} = \sum A_{ув_min} - \sum A_{ум_max}$$

$$A_{\Delta max} = (28 + 48 + 0{,}85 + 1{,}6075 + 6{,}25) - (11{,}9 + 3{,}5015 + 11{,}9 + 11{,}930 + 1{,}1 + 37{,}9 + 3{,}976) = 84{,}7075 - 82{,}2075 = 2{,}5 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta min} = (27{,}899 + 47{,}840 + 0{,}75 + 1{,}5925 + 6{,}192) - (12 + 3{,}5495 + 12 + 12 + 1{,}2 + 38 + 4{,}024) = 84{,}2735 - 82{,}7735 = 1{,}5 \text{ мм}.$$

Выводы

В разработанной конструкции привода для ручной машины электробур, генератор волн редуктора с ПТК статически и динамически уравновешен и не требует балансировки. Тела качения расположены в два ряда, что снижает нагрузку на перемычки сепаратора и повышает его долговечность. В результате размерного анализа установлены допуски на все звенья размерной цепи, проверка показывает достоверность расчетов, значит, условие сборки выполняется, и механизм будет работать должным образом в заданном режиме.

Литература

1. Разумов С. В. Обоснование параметров ручной машины электробур с редуктором с промежуточными телами качения [Электронный ресурс] / С. В. Разумов; науч. рук. В. С. Коротков // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2013. – Т. 1 . – С. 277-278.
2. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./ В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Л.: Машиностроение. 1983. – ч.2. 448 с.
3. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении. Справочник: в 2 т. – М.: Издательство стандартов. 1989. Т.1. –263 с.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБА

Степанова Д.Л.
Научный руководитель: проф. Крауиньш П.Я;
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: dasami2@mail.ru

Известны многие виды редукторов, основанные на работе зацеплений широко используемых, такие как эвольвентные и червячные. Не давно появившихся – эксцентриково-циклоидальное зацепление. В данной работе рассматривается новый тип редуктора: кинематический волновой редуктор с новым модифицированным профилем зуба близким к профилю зуба зацепления Новикова.

На рис.1 представлена кинематика движения такого редуктора. Шестерня z_1 напрессована на подшипник, а сам подшипник на эксцентриковый вал. Шестерня также установлена на трех неподвижных пальцах с диаметральным зазором, равным 2e. Число зубьев z_1 шестерни меньше числа зубьев z_2 колеса, происходит редуцирование движения колеса по отношению к входному эксцентриковому валу. Само колесо центрируется по направляющим. Характерной особенностью кинематического волнового редуктора с модифицированной формой зуба является возможность получения разности между числом зубьев колеса и шестерни в один зуб. Редуктор, представленный на рис. 1 обладает передаточным числом 90, это значение, совместно с параметрами зацепления, определяют основные радиальные габариты передачи. Осевой габарит передачи (ширина b) может быть рассчитана по известному крутящему моменту. В случае если передача быстроходная или значение эксцентриситета относительно велико, то достаточно установить вторую шестерню в противофазе для устранения влияния центробежных сил. Модифицированный профиль зубьев колеса и шестерни (рис.1), представляют собой головку зуба колеса в виде выступающего полуцилиндра с радиусом r, а у шестерни только ножка зуба в виде полуцилиндрической выемки с таким же радиусом. В зависимости от степени точности на указанный радиус устанавливаются требуемый допуск. Именно такая форма профиля зубьев колеса обеспечивает возможность создания передачи, у которой разница зубьев колеса и шестерни в один зуб.

Каждая передача характеризуется основными параметрами. Передаточное число данной передачи будет выражаться формулой (1), где значение числа зубьев шестерни z_1=89, а колеса z_2=90.

$$i = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{d_2}{d_2 - d_1}; \qquad (1)$$

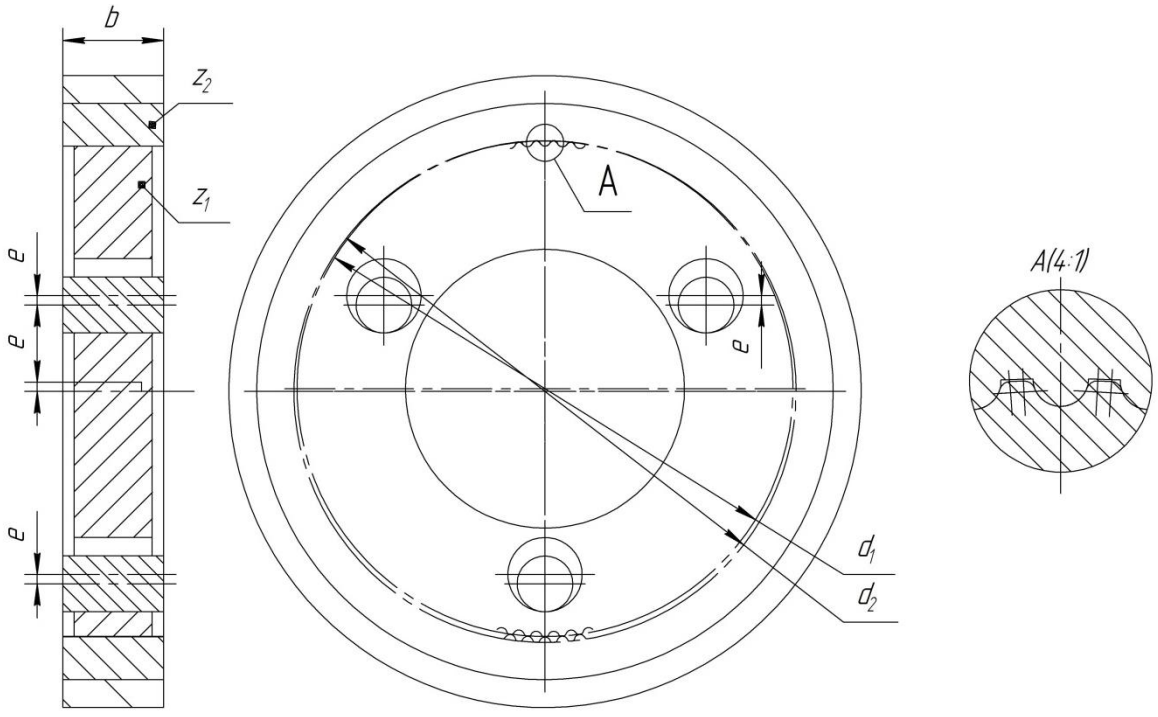


Рис.1. Кинематика редуктора

Колесо и шестерня соприкасаются своими делительными окружностями. Окружной шаг передачи принято определять некоторой характерной величиной, называемой модулем передачи, используя эту величину, определяют все основные параметры и габариты передачи. Для рассматриваемой формы зуба колеса и шестерни в качестве модуля принимаем введенный характерный размер r. Габариты передачи можно описать следующей формулой (2) через больший диаметр делительной окружности колеса, с которым взаимосвязан модуль:

$$d_1 = r \cdot z_1; d_2 = r \cdot z_2;$$
$$W = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot b; \qquad (2)$$

Зависимость на рис.2 выражает зависимость момента на выходе от значения передаточного числа, принимаем момент на входе и габариты передачи считать неизменным. Из зависимости рис.2 видно, что при неизменном габарите рассматриваемая зубчатая передача обладает высокой несущей способностью, это вызвано, во-первых, касанием выпуклой поверхности зуба колеса по вогнутой поверхности зуба шестерни и соответственно большой площадкой контакта и, во-вторых, повышенной удельной несущей способностью масляного клина между зубьями. Последнее связано с тем, что скорость качения направлена перпендикулярно к линии контакта.

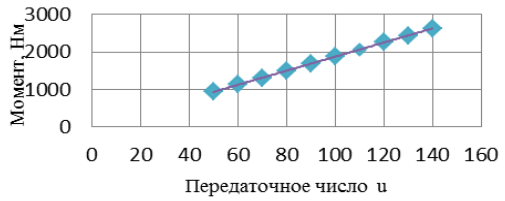


Рис.2. Зависимость момента на выходе от передаточного числа

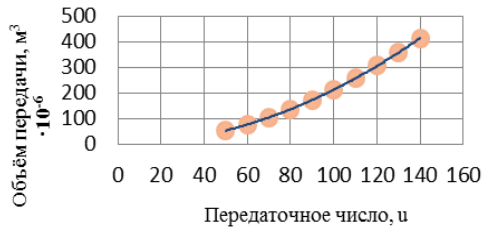


Рис.3. Зависимость объёма передачи от передаточного числа

Также модуль, характеризует контактную прочность, с ростом модуля растут размеры опасного сечения и размеры площадки контакта. Зависимость изменения габаритов передачи с увеличением передаточного числа показано на рис.3. При весьма больших значениях передаточного числа, данное зацепление характеризуется малыми габаритами, много меньше широко используемых передач. При этом несущая способность передачи весьма велика (рис.4).

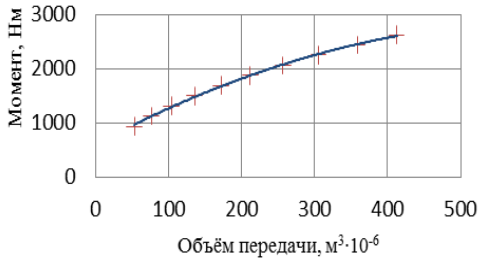


Рис.4. Зависимость момента на выходе от объёма передачи

Рассмотренные зависимости дают возможность определить оптимальные габариты передачи зная требуемый крутящий момент, определить передаточное отношение. Одним из основных важных параметров данного редуктора является свойство самоторможения. В случае использования данного редуктора в различных приводах, необходимость установки дополнительного тормоза в привод отпадает.

Рассматриваемая передача выделяется среди механических передач благодаря целому ряду достоинств, из которых важнейшие: компактность, высокий к.п.д., большая долговечность и надежность в работе, возможность осуществления передачи с широким диапазоном мощностей при любых скоростях и передаточных числах, простота обслуживания.

Список литература:

1. Краснощеков Н.Н., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Теория зацепления Новикова. М.: Наука, 1976 - 175 с.

2. Павленко А.В., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. Киев: Техника, 1978 - 144 с.

3.Анурьев В.И. Справочник конструктор-машиностроителя: в 3-х т.: Т.2. – М.: Машиностроение, 2001,-912 с.

4.Многооборотный электропривод трубопроводной арматуры, монография / под ред. В.Я. Распопова.- Тула. Изд-во ТулГУ,2011 322 с.

ДОКУМЕНТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Тарасенко С.С., Соколов А. П.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Tarasenko1995@yandex.ru

В настоящее время технологический процесс всё чаще сопровождается документацией в электронном виде, но часть документации остаётся в бумажном виде.

Целью данной работы является выявление оптимального соотношения между бумажным и электронным видами документации.

Распространение электронного вида документации во многом объясняется тем, что изделия становятся всё более сложными в разработке, производстве и эксплуатации, что в свою очередь ведёт к резкому увеличению объёма документации. Работа с таким объёмом информации в бумажном виде оказывается очень затруднительной в плане поиска информации касающейся эксплуатации, ремонта, изготовления и т.д. И самым лучшим способом решения данной проблемы является перевод бумажной документации в электронную.

В России существует ряд стандартов (ГОСТ 2.051, ГОСТ 2.052, ГОСТ 2.101, Гост 2.102, ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.305), которые уравнивают бумажные и электронные конструкторские документы по степени значимости. В соответствии с ГОСТ 2.051-2006, электронный документ – это документ, выполненный как структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством.

Введение стандартов имеет цель – обеспечение взаимодействия участников единого технологического процесса, в рамках хотя бы одной страны. При этом изготовление любого изделия требует времени на подготовку производства, в течение которого требования к объекту производства должны быть неизменными. На этапе промышленного производства и эксплуатации накапливаются необходимые информационные сведения, которые будут положены в основу при дальнейшем совершенствовании продукции и разработке нормативных требований для следующей ступени качества [1]. Необходимо постоянно пересматривать требования констатирующих стандартов – стандартов, фиксирующих достигнутый уровень науки и техники.

Ещё в большей степени идея о пересмотре стандартов относится к стандартам в электронном виде. Условия признания электронным документом информации, записанной на электронном материальном носителе, выглядят следующим образом:

- создание, обработка, хранение и передача информации осуществляется с помощью электронных технических средств;
- подписана в соответствии с действующим законодательством;
- может быть подана в форме, понятной для человека без специальных технических навыков.;
- если при составлении, хранении и передаче документа использован способ, позволяющий достоверно определить создателя документа.

В рамках данного исследования был проведён опрос среди специалистов в области машиностроения. Они должны были ответить на вопросы, касающиеся технической документацией:

1) Каково должно быть соотношение электронного и бумажного вида документации?

2) С каким видом документации проще работать на различных этапах технологического процесса?

3) Влияет ли серийность производства на соотношение видов документации?

Как и ожидалось, среднее соотношение электронной и бумажной документации, по мнению опрошенных экспертов, должно составлять соответственно: 70% и 30%. Данные результаты имеют определённые причины, которые описывались в начале статьи.

В вопросе о том, с каким видом документации проще работать и на каких этапах технологического процесса, мнения специалистов разделились. Особый интерес вызвали стадии проектирования изделия и непосредственного производства.

В зависимости от стадии проектирования меняются предпочтения в выборе вида документации. На начальной стадии, т.е. на эскизном участке проекта специалисты больше склонялись к бумажной документации. Поскольку при работе с ней есть возможность работать с несколькими документами одновременно. Что позволяет обнаруживать недостатки и особенности, которые ускользают от взгляда человека при просмотре этих же документов поочерёдно. Всё это ведёт к увеличению производительности труда при проектировании. В защиту работы с электронной документацией на этапе проектирования было сказано, что в электронную документацию легче вносить поправки, которые не портят документ, чего нельзя сказать о бумажной документации.

Экспертами было отмечено, что вид документации во многом определяется тем, является ли проектируемое изделие типовым или эксклюзивным. Ведь при автоматизированной разработке эксклюзивного изделия нужно использовать соответствующие программы. Однако, широко используемые программы автоматизированного проектирования в данном случае не годятся, а поиск специальной программы часто не оправдывает себя по

экономическим соображениям. Таким образом, выбор типа документации зависит от объёма серии создаваемых проектов.

На выбор вида документации при проектировании и непосредственно в производстве может оказывать влияние психология человека, а каждый человек воспринимает информацию индивидуально. По данным американских социологических исследований, текст при чтении с листа воспринимается на 25 % быстрее, чем с экрана монитора [2].

Кроме того эксперты отмечают, что работа с электронной документацией ведёт к большей утомляемости. Так как имеет место очень большая нагрузка на зрение, и в работе нужно делать перерывы. В этом плане, работа с бумажной документацией имеет преимущества, так как у человека задействовано большее число мышц, т.е. моторика человека более разнообразна, и это снижает общую утомляемость.

При ответе на вопрос «С каким видом документации проще работать на тех или иных этапах технологического процесса?» экспертами было отмечено, что документация должна соответствовать технологии. То есть всё зависит от того, насколько автоматизировано производство.

Электронный документ создаётся с помощью определённых технологий, состоящих из оборудования и программ, которые устаревают гораздо быстрее, чем люди, создающие бумажные документы. В этом заключается большая уязвимость электронных документов по сравнению с бумажными документами.

Юридическая сила бумажному документу придаётся ручной подписью, человека, создавшего документ. Для электронного документа используется электронный аналог подписи – электронная цифровая подпись (ЭЦП). Уравнивает в правах эти две различные подписи Федеральный закон « Об электронной цифровой подписи». Для его реализации необходимы соответствующие подзаконные акты, а также специальные удостоверяющие центры, выдающих сертификаты ключей ЭЦП.

Расширение использования электронных документов ограничивается психологической предрасположенностью к бумажным документам. Оба вида документов имеют и преимущества и недостатки, поэтому на данный момент имеет смысл совместное использование обоих видов документации. Такое сочетание позволяет существенно улучшить и упростить разработку документации технологического процесса.

Автоматизация процесса проектирования породила устойчивую тенденцию к изменению формообразования объекта проектирования. Значительное место при этом уделяется формализации создания образов, а это далеко не нейтральный процесс. Он напрямую связан с вопросами обеспечения информационно-психологической безопасности общества [3]. Так как конструктивное развитие современного общества не может быть без обеспечения информационно-психологической безопасности, то общество должно иметь возможность контроля поступающей информации в плане предотвращения манипуляции общественным сознанием. Эффективное средство для этого – повышение культуры общества как в общих человеческих вопросах, так и в вопросах работы с документами, в частности. Важным в этом плане является сохранение базовой части документации в бумажном виде, особенно визуализированной.

Выводы

1. Соотношение бумажного и электронного вида документации зависит от стадии разработки и физической реализации технического объекта. На стадии формирования образа предпочтительнее бумажный вид документации, и по мере продвижения к физической реализации имеется тенденция к увеличению электронного вида документации.
2. Чем больше автоматизирован технологический процесс, тем в большей степени используется электронный вид документации.
3. Переход от эксклюзивного проекта к типовому связан с увеличением серийного производства, что ведёт к увеличению электронного вида документации. Однако, на последней стадии, связанной с физическим производством, часть электронной документации переводится в бумажный вид, и в этом виде используется.
4. С точки зрения информационно-психологической безопасности базовая часть документации, особенно визуализированная, должна сохраняться в бумажном виде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демусяк А.Г., Гольдшмидт М.Г. Основы стандартизации – Томск : Изд-во ТПИ, 1975. – 168 с.
2. Кухта М.С. Восприятие визуальной информации: философия процесса. Томск: Изд-во ТГПУ, 2004. – 202 с.
3. Пую Ю.В. Влияние информационно-психологической безопасности на конструктивное развитие России // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 2009. – Вып. 109. – С. 57-66

ОБРАБОТКА ОТХОДОВ ДЕРЕВОПРОИЗВОДСТВА

Тё О.М.
Научный руководитель: Мойзес Б.Б., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет,634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: chuprin.antonkie@mail.ru
olechka_te@mail.ru

Деревообрабатывающие заводы являются одними из постоянно работающих заводов. В результате деятельности таких заводов образуются древесные отходы, начиная от древесной пыли заканчивая стружкой и крупными обрезками древесины. Отходы, образующиеся в процессе обработки древесины, классифицируют в зависимости от их вида на три группы: твердые (или кусковые), мягкие (опилки, стружка) и кора. Отходы классифицируют также в зависимости от последовательности получения: образуемые при заготовке леса; использовании древесины в круглом виде; первичной и вторичной обработке и переработке древесного сырья. Для производства строительных материалов и изделий в основном используют опилки, стружку и кусковые отходы. Последние применяют как непосредственно для изготовления клееных строительных изделий, так и перерабатывая их на техническую щепу, а затем на стружку, дробленку, волокнистую массу и т. д.

В данном разделе будут приведены существующие методы вторичного использования отходов деревообработки, но для начала рассмотрим особенности использования щепы и стружки-отхода.

Щепа технологическая используется в качестве сырья для производства сульфитной и сульфатной целлюлозы, полуфабриката тарного картона, древесноволокнистых и древесностружечных плит, гидролизного спирта и кормовых дрожжей.

Основным размером щепы является ее длина, которая при рубке регулируется величиной выпуска рубильных ножей под плоскостью диска (при прочих постоянных параметрах). Толщина и ширина щепы при переработке кусковых отходов на рубильных машинах не регулируются, а являются производными. Поскольку главным размером щепы является ее длина, а ширина и толщина не регулируются, при разработке технических условий на щепу достаточно указывать только длину щепы или ее пределы - наибольший и наименьший размеры, а также оптимальный. Однако в других условиях рубки или дробления (дробилками и др.) указанная пропорциональность может не иметь места. Поэтому должна быть предусмотрена сепарация для получения щепы не только требуемой длины, но и толщины.

Стружка-отход. Применительно к технологии производства древесностружечных плит целесообразно различать два термина: специальная стружка и стружка-отход. Специальная стружка изготовляется непосредственно в производстве древесностружечных плит, а стружка-отход поставляется для использования в этом производстве с деревообрабатывающих предприятий. Наиболее близко отвечает интересам деревообрабатывающих предприятий использование стружки-отхода для изготовления древесностружечных плит, поскольку эти плиты являются основным конструкционным материалом в мебельном производстве. Из стружки можно изготовлять арболит - экономичный и эффективный строительный материал.

Способы получения энергии из древесных отходов

Основными способами являются: быстрый пиролиз, сжигание, газификация.

Быстрый пиролиз представляет собой процесс, при котором сухие (<10% влажности), измельченные в порошок древесные отходы, включая опилки, кору и т.д., быстро нагреваются в кипящем слое инертного материала внутри реактора до температуры 450 - 500 °С при отсутствии воздуха. Продуктами пиролиза являются частицы древесного угля, неконденсирующийся газ, конденсирующиеся пары и аэрозоли. Частички древесного угля отделяются в циклоне, в то время как летучие вещества быстро охлаждаются, в результате чего образуется жидкость, которая называется «синтетическое жидкое топливо (пиротопливо)», которое поступает в накопительный резервуар.

Сжигание. Данный способ обычно используется в печах малой мощности (менее 20 МВт) для сжигания древесного топлива: кусковых и длинномерных отходов, коры, щепы, топливных брикетов, опилок и гранул и т.д. Получаемое тепло обычно используется для сушки древесины в сушильных камерах, в водогрейных котлах для обогрева производственных и/или жилых помещений. Для выработки электрической энергии отходы сжигаются в паровом котле с последующим использованием пара в паровой турбине.

Газификация представляет собой процесс высокотемпературного превращения отходов деревообработки при нормальном или повышенном давлении в газ, который называется генераторным или древесным газом.

Использование отходов деревопроизводства в строительстве

Строительство – одна из основных отраслей применения древесных отходов. Из кусковых отходов деревообработки могут быть изготовлены такие материалы (клееные панели, щиты и плиты, паркет, дверные коробки, древесноволокнистые и древесно-стружечные плиты и др.) которые отлично могут заменить древесину. Особенно большим спросом пользуются древесно-стружечные плиты плоского прессования, применяемые в качестве конструкционного и отделочного материала.

Существует большое количество строительных материалов, полученных путем переработки отходов деревопроизводства:

- *Опилкобетон* – материал на основе минеральных вяжущих и древесных опилок. К ним относятся ксилолит, ксилобетон и некоторые другие материалы, близкие к ним по составу и технологии.
- *Арболит* – относительно легкий бетон на древесных заполнителях, предварительно обработанных раствором минерализатора. Арболит применяется в промышленном и сельскохозяйственном строительстве в качестве блоков и панелей для возведения стен и перегородок.
- *Фибролит* в отличие от арболита в качестве заполнителя и в тоже время компонента для армирования включает древесную шерсть – стружку длиной от 200 до 500 мм, шириной от 4 до 7 мм и толщиной от 0,25 до 0,5 мм. Древесную шерсть получают из древесины хвойных пород. Производство фибролита заключается в приготовлении древесной шерсти, обработки ее минерализатором, смешивании с цементом, прессовании плит и их термической обработке.
- *ДВП – древесноволокнистые плиты* - материал, который получается из волокнистой массы с последующей тепловой обработкой. Около 90% всех древесноволокнистых плит изготовляют из древесины. Исходным сырьем служат отходы лесопильного и деревообрабатывающего производств, технологическая щепа и дровяная древесина. Процесс изготовления заключается в горячем прессовании массы из древесных волокон, сформированных в виде полотна.
- *ДСП – древесностружечные плиты* - материал, который получается из стружечной массы с последующей тепловой обработкой. Исходным материалом является отходы лесопиления, деревообработки и фанерного производства. При горячем прессовании плит карбамидоформальдегидные смолы используются в виде связующих веществ.
- *ЭДНП – экологические древесно-наполненные пластмассы* – изготавливаются на основе отходов древесины и полимеров. Отличительно особенностью ЭДНП является то, что они легко могут заменить очень широко используемые в строительстве ДСП и ДВП за счет их экологичности. Упомянутые выше ДСП и ДВП вредны в использовании в связи с постоянным выделением токсичных веществ.

Производство топливных брикетов

Брикеты – спрессованные изделия цилиндрической, прямоугольной или любой другой формы, их длина обычно 100 – 300 мм не должна превышать в пять раз их диаметр, который является больше, чем 25 мм, а обычно 60 – 75 мм.

Основой технологии изготовления древесных топливных брикетов лежит процесс прессования мелко измельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением при нагревании. Связующим элементом является легнин, который содержится в клетках растений. Брикеты обычно получаются прямым прессованием на гидравлическом или механическом прессе. Помимо этого, можно использовать метод шнекового прессования (готовые брикеты выходят непрерывно)

Производство пеллет

Пеллеты (топливные гранулы) - это сильно переработанный и экологически чистый вид топлива. Пеллеты применяются в технологических процессах меньших масштабов, чем брикеты, это объясняется не только предпочтением формы, но и удельными характеристиками. Таким образом отдача тепла гранул меньше, чем у топливных брикетов.

Технологию производства гранул можно представить в виде следующих операций:

- измельчение;
- сушка измельченного сырья;
- гранулирование;
- охлаждение;
- получение древесных пеллет.

В заключении можно сделать вывод, что все отходы деревообработки можно использовать в различных сферах промышленности. Использование отходов деревообрабатывающей промышленности позволяет не только утилизировать эти отходы с выгодой и заметно уменьшить себестоимость самой продукции, но и снизить вырубку лесов для этих целей, что немаловажно для людей и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергия из древесных отходов / – www.scriru.com: информ. портал. 2014. Режим доступа – свободный (дата обращения 15.01.2014).

2. Переработка отходов деревообработки / www.technologywood.ru: информ. портал. 2014. Режим доступа – свободный (дата обращения 15.01.2014).

3. Отходы деревообработки / www.karles.ru: информ. портал. 2014. Режим доступа – свободный (дата обращения 15.01.2014).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ БЛОКИРОВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ

Коперчук А.В., Филонов В.В.
Научный руководитель: Мурин А.В., к.т.н., доцент*
Юргинский технологический институт, 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
*Томский политехнический университет,634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, 30
E-mail: Avkop@tpu.ru

Гидродинамические муфты (гидромуфты) широко применяются в приводах различных машин. При их использовании привод машин приобретает целый ряд положительных свойств, из которых наиболее важными являются:

- достаточно плавное возрастание момента и ускорения, а также плавный разгон машин до рабочей скорости;
- предохранение приводного двигателя и механической трансмиссии от недопустимых перегрузок при резком торможении и пуске;
- стабильность и автоматичность срабатывания при заданном значении предельного момента и самовосстанавливаемость рабочего режима при устранении перегрузки [1, 2].

Существенным недостатком гидромуфт является потеря энергии на установившемся режиме из-за наличия скольжения S, т.е. отставания частоты вращения турбинного колеса n_2 от частоты насосного n_1. Эта величина показывает долю потерь мощности, идущих на нагрев рабочей жидкости и деталей гидромуфты. Наличие скольжения обусловлено тем, что циркуляция жидкости, обеспечивающая передачу энергии от насосного колеса к турбинному, прекращается раньше, чем сравняются угловые скорости насосного и турбинного колеса.

Названный недостаток можно устранить, применив устройство блокировки (УБ), замыкающее ведущий и ведомый валы после достижения последним определенной угловой скорости.

Основными недостатками большинства существующих УБ можно считать:

- сложность конструкции;
- наличие механизма управления;
- отсутствие предохранительных свойств в заблокированном состоянии.

Оригинальное решение предложено А.В. Муриным и В.А. Осиповым [3] (рис.1). УБ выполнено в виде центробежной муфты с дробью и гофрированным диском. Однако, расчетная нагрузочная способность устройства, способного разместиться во вспомогательной полости, оказалась меньше номинального рабочего момента гидромуфты [4], т.е. УБ не способно обеспечить блокирование предохранительной гидромуфты в рабочем режиме. В связи с этим возникла необходимость повышения нагрузочной способности механизма блокировки.

Т.к. пространство внутри насосного колеса гидромуфты не позволяет увеличить радиальный и осевой размер рабочей полости УБ (см. рис.1), было предложено повысить его максимальный момент за счет изменения формы внутренней полости.

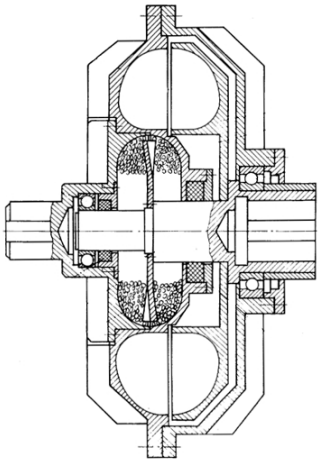
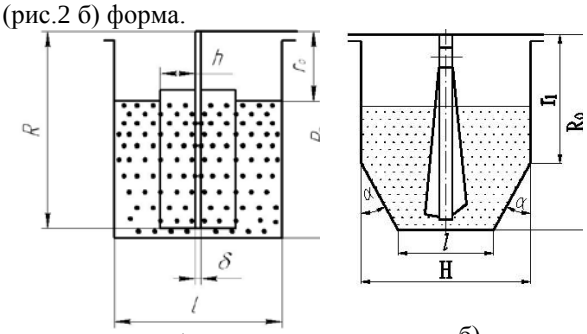


Рис.1. Блокируемая предохранительная гидромуфта А.В. Мурина, В.А. Осипова

Из соображений технологичности были выбраны цилиндрическая (рис.2 а) и коническая (рис.2 б) форма.



а) б)

Рис.2. Возможные варианты формы внутренней полости УБ

В литературе не было найдено данных, позволяющих определить максимальный момент УБ с дробью с ведущим корпусом и отличной от тора формой полости, поэтому были разработаны оригинальные расчетные зависимости [5]. В работе Б.А. Серикова [6] показано, что при уменьшении объема вспомогательной полости характеристики предохранительной гидромуфты становятся чувствительными к изменению степени наполнения, а при отсутствии этой полости даже незначительное изменение степени наполнения (с 90 до 70 %) увеличивает расчетное

скольжение более чем в 3 раза и приводит гидромуфту в неработоспособное состояние. Вследствие этого в исследуемых конструкциях механизм блокировки был вынесен из вспомогательной полости гидромуфты (рис.3).

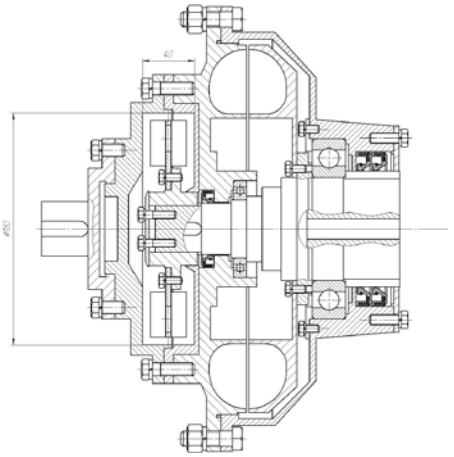


Рис.3. Гидромуфта с УБ цилиндрической формы

Для проведения экспериментальных исследований из стали 20 были изготовлены 4 конструкции УБ с одинаковыми наибольшим радиусом внутренней полости R_0=90 мм и осевым размером 40 мм с торовой, цилиндрической (см. рис.3), конической с углом α=15° и углом α=30° формами внутренней полости. Ведомый диск с выступами высотой 12 мм и формой, повторяющей внутреннюю полость, полностью исключал скольжение сыпучего материала по диску. В качестве наполнителя были использованы закаленные полированные шарики диаметром 4,763 мм из стали ШХ15. Масса сыпучего наполнителя определялась из условия постоянства радиуса свободной поверхности сыпучего тела r_0 = 57 мм. В качестве приводного использовался асинхронный короткозамкнутый электродвигатель А72-4 мощностью 28 кВт. Частота вращения входного вала муфты находилась в пределах 1460…1500 мин.$^{-1}$. Нагружение выходного вала муфты осуществлялось электрическим и механическим тормозами.

По результатам испытаний построены механические характеристики УБ (см. рис.4).

Анализ полученных данных показывает, что:

– наибольшей нагрузочной способностью при равных радиальных, осевых размерах и одинаковом радиусе свободной поверхности сыпучего наполнителя обладает УБ с цилиндрической формой внутренней полости;

– УБ с цилиндрической, торовой, конической с углом β = 15° рабочей полостью обладают малым значением момента в «стоповом» режиме, т.е. при отсутствии вращения ведомого вала;

– увеличение значений угла α для конической формы полости нецелесообразно, т.к. в этом случае снижается максимальный и увеличивается момент УБ при 100% скольжении, что приводит к дополнительной нагрузке на приводной двигатель и более интенсивному износу деталей УБ.

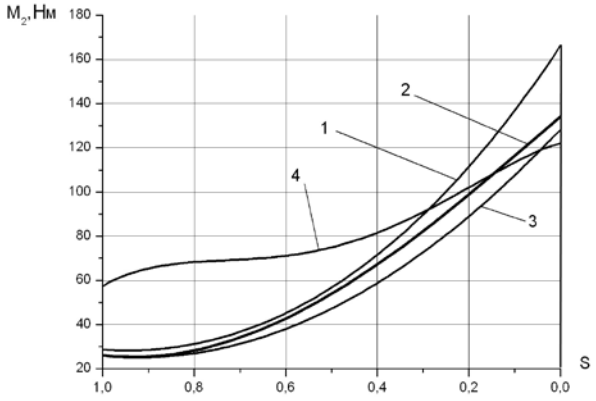


Рис. 4. Механические характеристики механизмов блокировки при наполнении гидромуфты 28%

1 - с цилиндрической рабочей полостью

2 - с торовой

3 - с конической с углом α = 15°

4 - с конической с углом α = 30°

Список литературы

1. Крутик А.В. Гидромуфты - средство повышения надежности машин // Машиностроитель. - 2001. - № 6. - С. 12-18.

2. Гидромуфты [Электронный ресурс] // Эско. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы».- 2004.- №11.- Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2004_11/art28.htm.

3. А.с. 1075027А СССР, МКИ^4 F16D39/00. Гидродинамическая предохранительная блокируемая муфта/ А.В. Мурин, В.А. Осипов (СССР).- №3390034/25-27; заявлено 05.02.82; Опубл. 23.02.84, Бюл. №7.- 4 с.: ил.

4. Коперчук А.В., Мурин А.В. Совершенствование блокируемой гидродинамической муфты для приводов горных машин // Горное машиностроение: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала)– 2012. – № ОВ3. – М.: издательство «Горная книга». – С. 300-305

5. Коперчук А.В. Мурин А.В. Повышение нагрузочной способности механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Прикладные научные разработки – 2012».– Прага, 2012.-Том 13.- С. 11-14.

6. Сериков Б.А. Обоснование параметров предохранительных гидродинамических муфт с отнесенной рабочей полостью с улучшенными свойствами: Дис… канд. техн. наук: 05.02.02.- Защищена 25.04.89.- Томск, 1989.-179 с.: ил. – Библогр.: с. 156-165

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ ИЗ СТАЛИ Р6М5 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ

Силантьев С.А., Хайдарова А.А.
Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: haydarova@tpu.ru

Определяющее влияние на тепловложение оказывают сила сварочного тока и скорость перемещения источника нагрева, от которых зависит погонная энергия наплавки [1]. Изменение погонной энергии сказывается на характере формирования структуры и свойств наплавляемого материала как за счет роста доли участия основного металла, так и за счет перегрева ванны расплава [2]. В связи с этим выбор параметров режима плазменной порошковой наплавки при восстановлении или упрочнении поверхности детали является актуальной задачей.

Целью работы является исследование влияния тепловложения (погонной энергии) при плазменной порошковой наплавке стали Р6М5 на формирование структуры и твердость упрочненного слоя.

Материалы и методы исследования. В работе производили однопроходную плазменную наплавку порошка стали Р6М5 с гранулометрическим составом 100…350 мкм на пластины из стали 20 толщиной 10 мм. Постоянными параметрами режима наплавки были расход транспортирующего и защитного газа (10…16 л/мин), расход плазмообразующего газа (2 л/мин), а также расход порошка (1,9 кг/ч). Наплавку производили на установке УПН-303УХЛ4, серийно выпускавшейся в ВНИИЭСО. В работе использовали плазмотрон с внутренней схемой ввода порошка в дугу.

Для изменения погонной энергии использовали режимы с различными значениями силы тока и скорости наплавки. Эффективную погонную энергию рассчитывали согласно ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 «Сварка и родственные процессы. Словарь». Эффективный КПД нагрева изделия дугой принимали равным 0,55…0,63. Напряжение на дуге составляло 35…45 В.

В таблице представлены параметры режимов наплавки, где I – сила тока, $V_{нап}$ – скорость наплавки, $q_п$ – погонная энергия наплавки.

Таблица. Режимы плазменно-порошковой наплавки

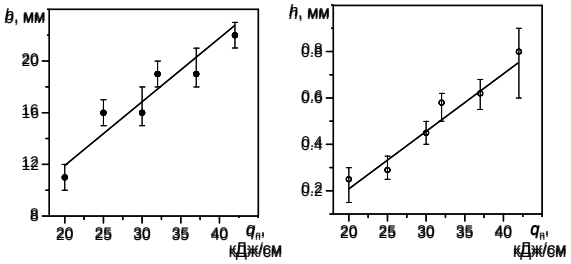
Режим наплавки	I, А	$V_{нап}$, см/с	$q_п$, кДж/см
1	160	0,17	20
2	220	0,21	25
3	160	0,13	30
4	200	0,17	32
5	220	0,17	37
6	220	0,13	42

Исследования макро- и микроструктуры производили методами оптической и электронной металлографии. Оптическую металлографию осуществляли с помощью микроскопа OLYMPUS GX51 и комплекта прикладных программ SIAMS 700. Электронную микроскопию – с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения JSM-7500FA, снабженного системой энергодисперсионного микроанализа производства JEOL, позволяющего проводить элементный анализ. Выявление структуры наплавленного металла осуществляли методом окунания предварительно отполированной поверхности в 4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Время выдержки металла в растворе варьировалось от 20 до 60 секунд.

Исследование наплавленного металла методом рентгенофазового анализа (РФА) проводилось с помощью рентгеновского дифрактометра XRD-7000S с фильтрованным CuK_α-излучением и автоматическим сканированием рентгеновского пучка в интервале углов 2Θ от 35 до 72° с шагом 0,05° и экспозицией на каждую точку 15 сек без вращения образца.

Микротвердость покрытий в поперченном и продольном сечениях измеряли на приборе HVS-1000 с шагом по глубине 150 мкм при нагрузке 5 Н.

Результаты и обсуждения. При неизменном объеме присадочного материала, поступающего в ванну расплава, с ростом величины погонной энергии наплавки повышается усваиваемость порошка и улучшается смачиваемость наплавляемой поверхности. Все это приводит к увеличению ширины упрочненного слоя практически в два раза (рис. 1,а) и к росту глубины проплавления основного металла от 0,2 до 0,9 мм (рис. 1,б).



а б

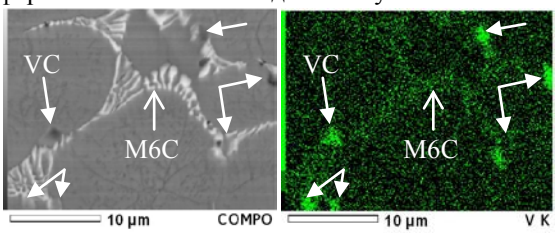
Рис. 1. Изменение ширины (а) и глубины (б) наплавляемых валиков при увеличении погонной энергии плазменной наплавки

Структура наплавленного металла представляет собой аустенитно-мартенситную матрицу с сеткой эвтектических карбидов

«скелетно-реберной» морфологии (рис. 2,а). Упрочняющая фаза представлена первичными и вторичными карбидами типа M_6C. Первичные располагаются вдоль границ зерен, вторичные – как у границы, так и внутри зерна.

По результатам рентгенофазового анализа предполагаемая конфигурация карбидов может быть представлена формулой $Fe_3(W,Mo)_3C$. Однако, анализируя результаты микрорентгеноспектрального анализа, в состав фазы M_6C помимо W и Mo могут входить Cr и V. Таким образом, состав карбида M_6C может быть представлен как $(W,Mo,Fe,Cr,V)_6C$.

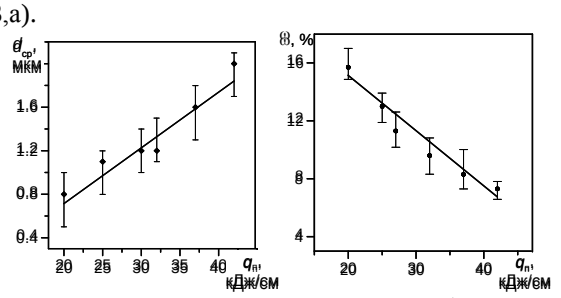
Вблизи эвтектических карбидов во всем объеме наплавленного металла наблюдаются выделения мелкодисперсных карбидов, в состав которых входит ванадий (рис. 2, б). Наличие карбида типа VC в наплавленном металле подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рис. 3,а). Форма дисперсных карбидов VC размером от 0,4 до 2,0 мкм варьируется от сферической и овальной до многоугольной.



а б

Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла: а – микрофотография (SEM), б - энергодисперсионный элементный анализ

Объемная доля карбидов ванадия в наплавленном металле колеблется в пределах от 1,1 до 2,3%. Максимальное количество частиц VC наблюдается в металле, наплавленном при величине погонной энергии 30…32 кДж/см, при этом выделение дисперсных частиц по всему объему упрочненного слоя равномерно, а их средний размер составляет ~1,2 мкм. Увеличение тепловложения свыше 35 кДж/см способствует росту среднего размера частиц до ~2 мкм (рис. 3,а).



а б

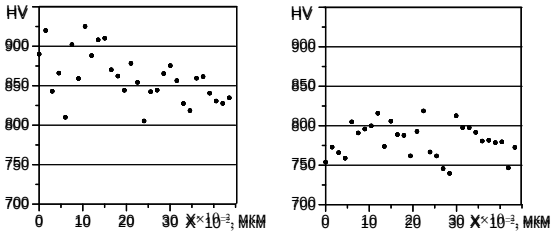
Рис. 3. Изменение среднего размера карбидов типа VC (а), объемной доли эвтектических карбидов типа M_6C (б) при увеличении погонной энергии наплавки

С ростом погонной энергии наплавки увеличивается градиент температур между основой, ванной расплава и окружающим воздухом, что способствует повышению скорости охлаждения жидкого металла. В результате этого происходит уменьшение объемной доли эвтектических карбидов в упрочненном слое по прямой зависимости от тепловложения (рис. 3,б).

Уменьшение количества карбидной фазы в наплавленном металле способствует пересыщению твердого раствора углеродом, что приводит к росту объемной доли мартенсита. Согласно данным рентгенофазового анализа при величине погонной энергии наплавки 20 кДж/см объемная доля мартенсита составляет 65%, а при 42 кДж/см количество мартенсита достигает 85%.

Наибольшее количество первичных карбидов типа M_6C, а также неравномерное выделение мелкодисперсных карбидов типа VC при малой величине погонной энергии наплавки (20…25 кДж/см) приводит к значительному разбросу микротвердости по толщине наплавленного слоя с одновременным повышением её среднего значения до 860 HV (рис. 4,а).

Увеличение количества мартенсита до 85% при росте погонной энергии наплавки до 42 кДж/см не приводит к значительному повышению твердости наплавленного слоя (рис. 4,б), её средний уровень находится в пределах 780 HV.



а б

Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине наплавленного металла при величине погонной энергии наплавки 20 кДж/см (а) и 42 кДж/см (б)

Выводы: 1. Увеличение тепловложения при плазменной порошковой наплавке стали Р6М5 способствует снижению объемной доли карбидов типа М6С и увеличению среднего размера частиц VC в упрочненном слое.

2. Снижение объемной доли карбидов в наплавленном металле при повышении тепловложения способствует увеличению количества мартенсита до 85% и снижению среднего значения микротвердости до 780HV.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания №862 Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ.

1. Blondeau R. (Ed.) Metallurgy and Mechanics of Welding / Wiley-ISTE Ltd. – 2008. - 496 p.

2. Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка режущего инструмента // Сварочное производство. – 2008. - №11. – С. 28-31.

ГАСИТЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ УДАРНОГО ТИПА

Хреновский А.С., Пушкарев М.С.
Научный руководитель: Гаврилин А.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
E-mail: ssowi@ya.ru

Модель относится к машиностроению и предназначена для защиты от вибраций различных объектов, в частности, металлорежущих станков.

Известен динамический гаситель содержащий пневматический демпфер. Этот гаситель содержит массу, присоединенную к защищаемому объекту посредством упругого элемента, отличающийся тем, что упругий элемент выполнен в виде балки, закрепленной консольно, и прикреплен к защищаемому объекту через корпус и ударный механизм, при этом масса имеет Т-образную форму, в верхней части которой сделан сквозной паз для балки, а в нижней выполнено сквозное резьбовое отверстие для ходового винта, и имеет возможность перемещения за счет применения ходового винта и шагового двигателя от системы управления. /см. патент РФ №98792, кл. F16F7/112, 2006.

Недостатками данного устройства является отсутствие автоматической настройки пневматического демпфера, что существенно снижает эффективность гасителя, гашение колебаний в малом диапазоне, а также небольшой ресурс демпфера.

Задача полезной модели состоит в расширении ее функциональных возможностей, а также полной автоматизации настройки гасителя на рабочую частоту.

Поставленная задача достигается тем, что для гашения изгибных колебаний балки используется ударный механизм (наковальня), которая имеет возможность перемещения за счет применения ходового винта и шагового двигателя от системы управления.

Конструкция устройства поясняется чертежами на рис.1, рис.2, рис.3.

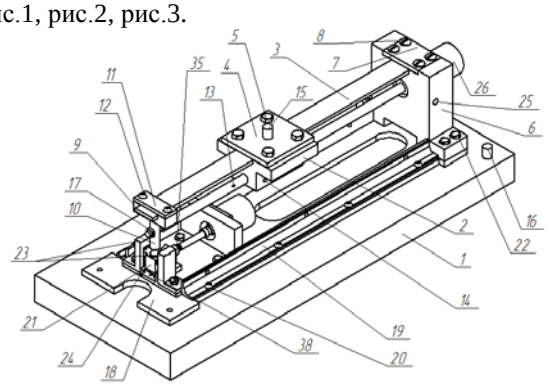


Рис. 1. Общий вид конструкции гасителя

На рис.1. показан общий вид конструкции гасителя. На рис.2 - общий вид в разрезе. На рис.3. – разрез А-А на рис.2. На рис.4. – разрез Б-Б на рис.2. Работа устройства осуществляется следующим образом.

Динамический гаситель жестко крепится при помощи болтов к объекту 1, колебания которого нужно гасить. При возникновении вертикальных колебаний на объекте 1 опосредованно системой управления осуществляется перемещение массы 2 через ходовой винт 13 вдоль упругой балки 3. Балка 3 начинает совершать изгибные колебания, которые гасит подвижная наковальня, нижнее основание 38 которой перемещается опосредованно системой управления через ходовой винт 37.

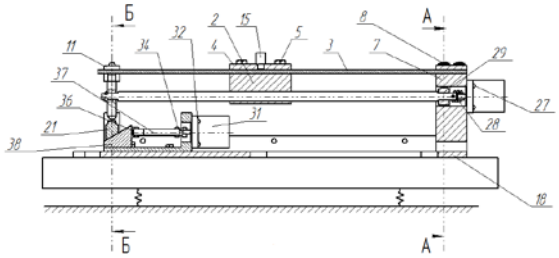


Рис. 2. Общий вид в разрезе

Для гашения колебаний объекта 1 необходимо так настроить гаситель путем изменения жесткости упругой балки 3, чтобы собственная частота гасителя соответствовала частоте вынужденных колебаний объекта 1. В предлагаемой конструкции такая настройка осуществляется автоматически по алгоритму, заложенному в системе управления. А при помощи использования подвижной наковальни увеличиваем диапазон амплитуд и частот изгибных колебаний, совершаемых балкой 3, соответственно настройка будет осуществляться также по алгоритму, заложенному в системе управления.

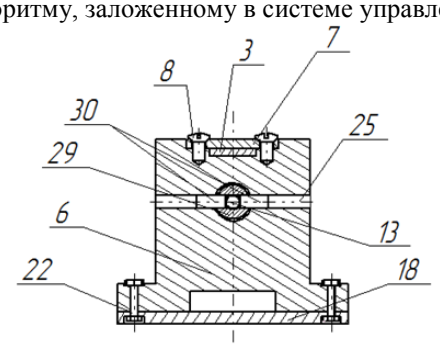


Рис. 3. Разрез А-А

Использование наковальни, позволяет контролировать зазор ударного гасителя между бойком и наковальней. Этот зазор можно устанавливать приблизительно равным нулю, меньше или больше нуля. Если принять его приблизительно равным нулю получится устойчивое гашение колебаний, в требуемом диапазоне, при использовании зазора больше нуля эффективность гасителя возрастет, но могут возникнуть проблемы с пуском гасителя. Использование зазора менее нуля необ-

ходимо, когда требуется обеспечить включение гасителя при определенном уровне возбуждения объекта. Датчик 15, установленный на массе 2, сравнивает частоту колебаний с датчиком 16, установленном н защищаемом объекте 1. При достижении частоты колебания виброгасителя и частоты объекта 1 возникает эффект виброгашения. Муфта 28 перелает крутящий момент от шагового двигателя 26 на ходовой винт 13. Дополнительно рабочий диапазон гасителя можно изменять за счет изменения массы 2, с помощью дополнительных грузов. Рабочий диапазон можно изменять за счет использования изменения жесткости пружин 39. Втулка 29 с роликами 30 обеспечивают движение ходового винта 13 в заданном направлении, остальные движения игнорируются. Подвижная наковальня позволяет изменять коэффициент демпфирования для исключения значительных амплитуд колебаний демпфера.

Предлагаемое устройство гасит поперечные колебания только в заданном направлении.

В отличие от известных устройств, для гашения колебаний, использование предлагаемого динамического гасителя позволяет значительно расширить функциональные возможности, за счет применения двух ходовых винтов и двигателей с системой управления. Процесс настройки гасителя проходит полностью в автоматическом режиме. Отсутствует необходимость в ручной настройке. За счет полной автоматизации отсутствуют большие шаговые погрешности, возникающие при ручной настройке гасителя.

Анализ работы гасителя при помощи моделирования процесса в Matlab R2012a

Составление системы диффуравнений и определение параметров системы:

{m*y1” + b2*(y’2 - y’1) +c1*y1 +c2*(y2- y1) =a*sin (w*t)*t; {m2*y2”+b2*(y’2-y’1)+ c2*(y2- y1) =0;

y1’’-виброускорение объекта; y1’-виброскорость объекта; y2’’-виброускорение шарика; y2’-виброскорость шарика; y1-виброперемещение объекта; y2-виброперемещение шарика; m1-масса объекта; m2-масса шарика; c1-жесткость подвеса объекта; c2-жесткость подвеса шарика; b1-коэффициент демпфирования объекта

$b2 = \frac{1-r^2}{2\pi}\frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\omega$-коэффициент демпфирования ударного гасителя

Составляем набор системы диффуравнений в Matlab, производим ввод графической части.

Метод Рунге-Кутта 4-5 порядка:

[T,Y]=ode45('diffuri',[0:0.2:60],[0 0 0 0]);

T=0:0.2:60; plot(T,Y)

Начальные данные tначал=0 шаг интегрирования d= 0,2 конечное время tконечн = 60с. (60*t)*t – скорость разгона системы.

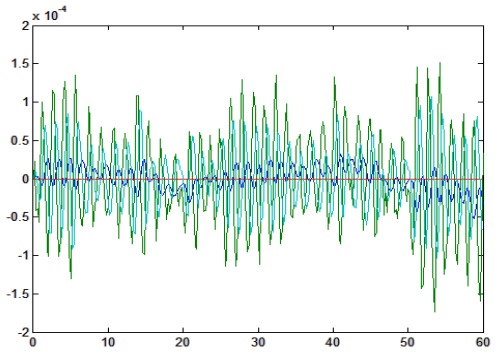


Рис.4.

Поменяем значение зазора z=-0,8

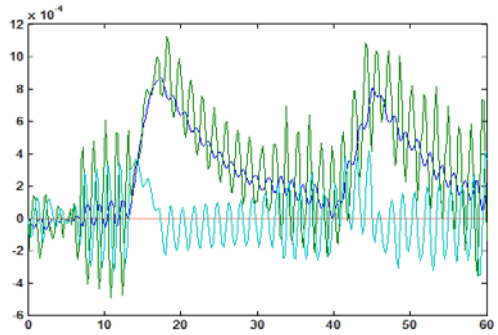


Рис.5.

Поменяем значение зазора z=1

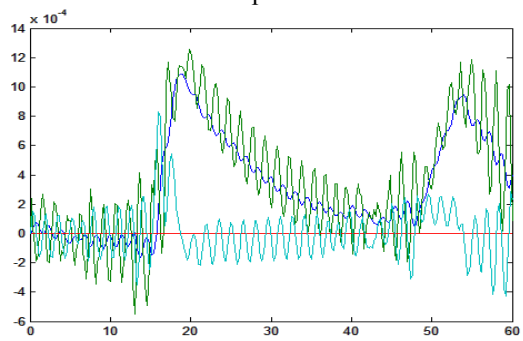


Рис.6.

Выводы: По данным полученным из модели, можно сделать вывод, что наиболее эффективно гаситель работает при значении зазора равным приблизительно нулю. В случае, когда зазор больше нуля или боек поджат, есть шанс возникновения резонансных частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). —М.: Машиностроение, 1981. — Т. 6. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К. В. Фролова. 1981,456 с, ил.
2. Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. – М.: Телеком, 2003. – 592 с
3. Потемкин В.Г. Вычисления в среде MATLAB. – М.: Диалог-МИФИ, 2004. – 720 с.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чуприн А.Е.
Научный руководитель: Мойзес Б.Б., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет,634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: chuprin.antonkie@mail.ru

В настоящее время к техническому состоянию парка машин с гидроприводами предъявляются высокие и прогрессивные требования, такие как:

- высокая производительность;
- безотказная работа;
- возможность контроля параметров текущего состояния оборудования;
- удобство в техническом обслуживании;
- проведение ремонтных работ с минимальными затратами и т.д.

Поддержание высокой эксплуатационной надежности машин даже при владении современными методами технического обслуживания и ремонта достигается только при своевременном предупреждении возможных неполадок или их обнаружении (если они произошли, но критически не повлияли на работу оборудования) методами и средствами диагностики. Каждая машина, которая поступает в эксплуатацию, имеет заложенный ресурс агрегатов. Период непрерывной работы машины зависит от уровня технической эксплуатации. При неправильной эксплуатации агрегаты могут выйти из строя в течение одного года, а при правильной – способны работать более 10 лет [1].

Основные задачи диагностики гидропривода:

- установление зависимости между надежностью и влияющими на нее факторами;
- определение необходимости ремонта для восстановления рабочего состояния гидрооборудования;
- определение характеристик технического состояния гидрооборудования и сравнение их значений с установленными в технической документацией;
- проведение анализа информации о техническом состоянии гидрооборудования для определения надежности и качественных характеристик надежности изделия.

Основной параметр любого гидропривода, который наиболее полно характеризует его технические возможности, – объемный коэффициент полезного действия. В связи с тем, что данный параметр невозможно измерить напрямую, то при диагностировании гидропривода используют внешние (выходные) характеристики. Такие параметры, как частоты вращения вала, скорость движения штоков гидроцилиндров, величина и скорость изменения давления, температура рабочей жидкости, концентрация загрязнений в рабочей жидкости и другие показатели дают информацию о техническом состоянии гидрооборудования могут использоваться для установления причин нарушения работоспособности и отказов, а так же для разработки мероприятий по их предотвращению.

Техническое состояние гидрооборудования определяют по численным значениям, которые поддаются измерениям. Для каждого вида гидрооборудования существуют свои параметры, предельные значения которых обусловлены вероятностью отказов гидропривода.

Предельное состояние объекта – это состояние, при котором его эксплуатация должна быть прекращена из-за:

- выхода значения заданных параметров за установленные пределы;
- неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой;
- необходимости выполнения среднего или капитального ремонта.

Критерии предельного состояния гидрооборудования и их значения, указываются заводом изготовителем в нормативно-технической документации.

Значения критериев определяют в ходе испытаний посредством анализа:

- причин отказов и неисправностей в условиях нормальной эксплуатации машин с гидроприводом;
- влияния технического состояния гидрооборудования на технико-экономические показатели машины, которые определяют эффективность и целесообразность ее дальнейшего использования;
- технических условий на изготовление, эксплуатацию и ремонт гидрооборудования; влияния технических параметров гидрооборудования на безопасность работы машин при эксплуатации и обслуживании;
- экспертных заключений специалистов и организаций, которые проектируют, изготавливают и эксплуатируют машины с гидроприводом.

Таким образом, для определения технического состояния машины, отдельных его компонентов необходимо измерить несколько параметров. Число измеряемых параметров должно быть минимальным, но достаточным для объективной оценки технического состояния гидрооборудования и гидропривода в целом.

Гидрооборудование постоянно совершенствуется, гидравлические системы усложняются, усложняются и задачи, которые стоят перед специалистами, диагностирующими состояние машины. Даже при большом опыте специалиста и максимуме информации о причинах возможных

неисправностей и отказов, далеко не всегда понятно как по видимым признакам, таким как, потеря мощности, снижение производительности, можно определить точную причину неисправности.

В такой ситуации быстро определить причину неисправности, а порой и предотвратить ее без потери времени на поиск неисправностей, позволит применение гидротестера или специального оборудования.

Номенклатура средств технической диагностики постоянно расширяется. Современные инженерные решения позволяют создавать компактные гидротестеры для определения технического состояния всех элементов гидросистемы машины посредством измерения расхода, давления и температуры рабочей жидкости. Ниже приведены примеры существующих тестеров.

Цифровой гидравлический тестер DHM403 создан для работы в полевых условиях, особенно для мобильной техники с гидроприводом.

На принципиальной схеме (рис.1) показано применение портативного цифрового гидротестера DHM403 для диагностирования двухпоточного аксиально-поршневого насоса в комплекте с измерительными приборами и нагружающими клапанами, с фототахометром *1* для измерения частоты вращения приводного вала насоса, с двумя расходомерами *2* и *3* для измерения подачи рабочей жидкости, нагружающими клапанами *2* и *4* для создания регулируемого давления, а также цифрового считывающего устройства *5* для регистрации подачи рабочей жидкости двумя качающими узлами аксиально-поршневого насоса, давления и температуры рабочей жидкости.

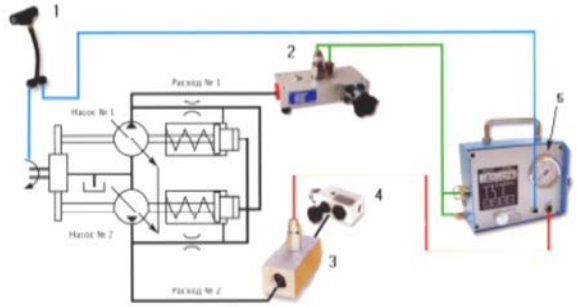


Рис.1. Принципиальная схема портативного гидротестера DHM403

На рис. 2 показан цифровой дисплей, который регистрирует расход в зависимости от давления, для вычисления объемного к.п.д.

Рис. 2. Цифровой дисплей

Гидравлический тестер DHM403 был разработан для оперативного контроля технического состояния гидропривода мобильных машин, чтобы позволить пользователю точно измерять 5 параметров одновременно и полностью отображать их в цифровом виде на одном экране [2].

Стенд для тестирования клапанов и насосов (рис.3) является многофункциональным устройством, на котором можно тестировать различные типы клапанов и насосов гидрозамков, предохранительных и обратных клапанов.

Рис.3. Стенд для тестирования клапанов и насосов

Стенд осуществляет проверку клапанов и насосов давлением до 345 атм. и расхода до 600л/мин). Основные параметры, полученные при тестировании (давление, поток, характеристики по обратной связи и т.д.) сохраняются в системе визуализации стенда. При тестировании пропорциональных распределителей и клапанов сохраняется сигнал управления и обратный сигнал с клапана – эти данные определяют зависимости выходного и входного сигналов в различных режимах работы. При тестировании гидрораспределителей с внешней электроникой имеется возможность устанавливать время задержки 0,5…8 с для сглаживания гидравлических ударов на клапане. Для проверки клапанов сверх установленной номенклатуры, предложена схема для самостоятельного выбора сигналов управления. По результатам стендовых испытаний проводится статический и динамический анализ. Все аварийные и диагностические сообщения можно просмотреть в таблице аварийных сообщений [3].

Список литературы

1. Оборудование для диагностики и испытания гидроприводов. [Электронный ресурс] // www.truckguru.ru: информ. портал. 2014. Режим доступа: www.truckguru.ru/library/mobile-cranes/gidrotester_test (дата обращения 20.02.2014).

2. Васильченко В., Соболев В. Диагностика технического состояния гидропривода мобильных машин [Электронный ресурс] // www.hydrapac.com: информ. портал. 2014. Режим доступа: www.hydrapac.com/netcat_files/File/diagnostika_mashin.pdf (дата обращения 20.02.2014).

3. Испытательный стенд для диагностики [Электронный ресурс] // www.hydac.com.ru: информ. портал. 2014. Режим доступа: www.hydac.com.ru/art_diagnost_st.html (дата обращения 20.02.2014).

СЕКЦИЯ 4

Електромеханика

SECTION 4

Electromechanics

ДВУХКАНАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ТИПА ЛДТ НА ОДНОМ МАГНИТОПРОВОДЕ

Абрамовская А.В.
Научный руководитель: Богданов Е.П., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: abramovsk-anna@yandex.ru

Известные конструкции датчиков линейного перемещения дифференциально-трансформаторного типа (ЛДТ, LVDT), обладающие высокой надежностью и точностью измерения, имеют существенный недостаток: габариты, которые заметно увеличивают размеры приводов, в которых используются. Предлагаемые варианты схемно-конструктивного исполнения с дублированием обмоток позволяет практически вдвое уменьшить длину дифференциально-трансформаторных датчиков [1].

При проведении работ по миниатюризации и повышению точности измерения датчиков типа ЛДТ с дублированием обмоток изготовлен образец с рабочим ходом штока ± 15 мм (рис. 1). По результатам экспериментальных исследований длина сердечника образца выбрана равной длине рабочей катушки. При перемещении от электрической нейтрали сердечник выходит за пределы обмоток, т.е. используются торцевые поля выпучивания между ним и внешним неподвижным магнитопроводом. Удлинение сердечника и использование всей зоны его перемещения позволило уменьшить до минимума количество слоев в измерительных обмотках первичной и вторичной цепей (до четырех и двух соответственно). Это обеспечило технологически простую равномерно распределенную намотку.

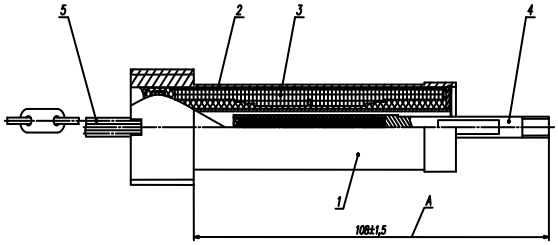


Рис. 1. Общий вид датчика:
1 – корпус; 2 – магнитопровод;
3 – катушка; 4 – подвижная часть датчика; 5 – выводы.

Минимальное количество витков дало возможность применить обмоточный провод с повышенным удельным активным сопротивлением и обеспечить заданные точностные параметры одного из каналов образца при коротком замыкании сопротивления нагрузки в другом канале. Кроме того, выбранное соотношение между значениями длины сердечника и катушки позволило получить при напряжении питания 6 В частотой 2000 Гц в первичной цепи ток менее 20 мА, который требуется для использования микросхемы, обрабатывающей выходные сигналы датчика.

Одно из основных требований, предъявляемых датчику – уровень выходного сигнала, который определяется самой схемой его обработки, и от которого в значительной степени зависят габаритные размеры датчика. С целью вывода основных аналитических отношений составляем схему замещения датчика (рис. 2) . Схема учитывает только одну обмотку возбуждения. Такое решение не оказывает определяющего влияния на погрешность расчета параметров датчика, но упрощает задачу вывода соотношений.

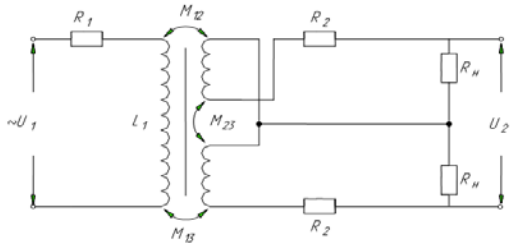


Рис. 2. Схема замещения одного канала датчика

Составив уравнения Кирхгофа аналогично известным из литературы [2] , выведены аналитические соотношения для выходных напряжений обмоток датчика.

Для секции с индуктивностью L_2 напряжение на сопротивлении нагрузки $R_н$ определяется по формуле:

$$\dot{U}_2 = \frac{j\omega M_{12}\dot{U}_1 R_\text{Н}}{\left[\dot{Z}_1\left(\dot{Z}_2 + R_\text{Н}\right) + \omega^2 M_{12}^2 - \frac{\omega^2 M_{13}^2\left(\dot{Z}_2 + R_\text{Н}\right)}{\dot{Z}_3 + R_\text{Н}}\right]},$$

где $\dot{Z}_1$- комплексное сопротивление первичной обмотки, $\dot{Z}_2$, $\dot{Z}_3$- комплексные сопротивления секций измерительной обмотки с учетом взаимной индуктивности M_{23}.

Подобное выражение получено для выходного напряжения секции с индуктивностью L_3.

Вышеуказанные соотношения позволяют оценить при электромагнитном расчете датчика его минимальное и максимальное значения выходного напряжения в пределах рабочего хода.

По выходной характеристике γ и зависимостям напряжений U_2 и U_3 в секциях измерительной обмотки от перемещения сердечника для одного

канала образца, полученным экспериментальным путем (рис. 3), определены значения нелинейности n в зависимости от перемещения сердечника от исходного (нулевого) положения x (рис. 4).

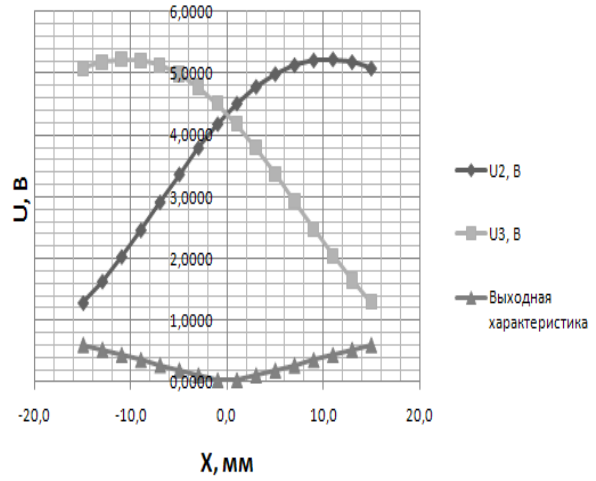


Рис. 3. Выходная характеристика и зависимость напряжений U_2 и U_3 в секциях измерительной обмотки от перемещения сердечника

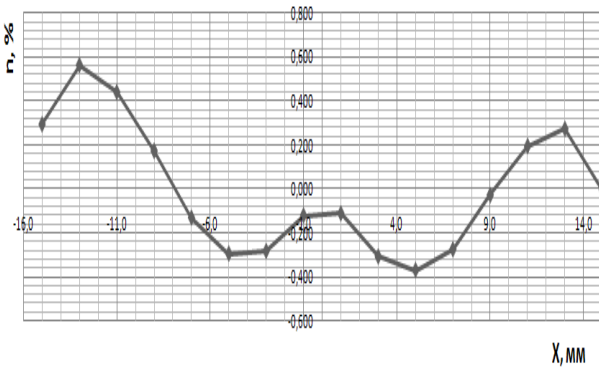


Рис. 4. Зависимость нелинейности от перемещения штока

Датчик выполнен по инвариантной схеме [1], при которой текущие значения выходной характеристики определяются:

$$\gamma = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2}$$

где U_2, U_1– текущие значения выходного напряжения измерительных обмоток, В.

Нелинейность выходной характеристики, % определялась по формуле:

$$n = \frac{(\frac{\gamma_i}{K_{cp}} - x_i)}{30} \cdot 100\%$$

где γ_i - текущее значение отношения разности к сумме выходных напряжений измерительных обмоток;

Кср - средняя крутизна выходной характеристики, 1/мм;

x_i - текущее значение перемещения подвижной части, мм;

30 - рабочий ход подвижной части в обе стороны от нулевого положения, мм.

Крутизна выходной характеристики определялась по формуле:

$$K = \frac{\gamma_i}{x_i}$$

Предлагаемый вариант схемно-конструктивного исполнения дифференциально-трансформаторного датчика типа ЛДТ на рабочий ход ±15 мм с дублированием обмоток и инвариантной схемой представления выходной характеристики при длине сердечника 47 мм позволил получить:

- диаметр корпуса не более 17 мм, что дает возможность размещения датчика внутри штока приводного механизма диаметром не более 20 мм;
- массу датчика не более 45 г;
- максимальное выходное напряжение 4,3 В;
-нелинейность выходной характеристики менее ±0,6 %;
-работоспособность по одному из выходов датчика при одной возможной неисправности типа «обрыв» или «короткое замыкание» в другом выходе за счет выполнения измерительных обмоток с активным сопротивлением, сравнимым с сопротивлением нагрузки.

Рассматриваемый датчик, построенный на инвариантной схеме, при которой выходной характеристикой является отношение разности напряжений выходных полуобмоток к опорному сигналу, за который может быть принята их сумма, или к сигналу специальной опорной обмотки. Это обеспечивает почти полное исключение эксплуатационной составляющей погрешности измерения: от колебания напряжения питания, частоты, температуры, давления и т.п.

Список литературы:

1. Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филлипов В.И., Колокольцов В.Н., Исаев А.А. / Компенсация погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения //Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. Трудов. Конф. НПЦ «Полюс». Томск: 2001.
2. Савченко М.Г, Марьянов Г.М., Филиппов В.И. / Двухканальные датчики типа ЛДТ на одном магнитопроводе. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. нач. трудов. Новосибирск: Наука, 2007.

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СО СТРУКТУРНЫМ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Брагин А.Д.
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lflenylol@gmail.com

Применение отказоустойчивого управления асинхронным электроприводом в аварийных неполнофазных режимах работы [1] предполагает применение скалярного управления асинхронным электроприводом. Целью данной статьи является моделирование асинхронного электропривода с векторной системой управления в аварийных и неполнофазных режимах работы с использованием структурного и функционального резервирования.

Система векторного управления содержит регулятор потокосцепления и скорости, а также три регулятора тока. Сигнал задания на ток, вырабатываемый регуляторами потокосцепления и скорости поступает в координатный преобразователь, где происходит преобразование из вращающейся системы координат x, y в неподвижную a, b. Далее в зависимости от режима работы происходит преобразование в трехфазную систему координат.

Для моделирования был выбран двигатель АИР63А2.Оптимизация контуров производилась согласно методике, представленной в [2]. Расчет модели проводился в среде Matlab Simulink.

На рис. 1 представлены переходные процессы по току, частоте вращения и моменту, протекающие в электродвигателе в случае возникновения аварии без использования алгоритма восстановления.

На рис. 2 представлены переходные процессы, протекающие в электроприводе с векторным управлением в случае обрыва фазы и 25 мс интервалом времени переключения структуры электропривода с подключением резервного элемента (полумоста преобразователя частоты).

На рис. 3 представлены переходные процессы по току, частоте вращения и моменту, протекающие в электродвигателе в случае возникновения аварии с использование алгоритма восстановления [3].

Изменение электромагнитного момента определяется следующими факторами. Во-первых, в воздушном зазоре машины возникает эллиптическое поле, которое создает дополнительный тормозной момент и уменьшает перегрузочную способность. Второй причиной является некорректная работа системы управления, которая рассчитана для трехфазного режима. Так, при переходе в двухфазный режим при выполнении двигателя по схеме с развязанными фазами сумма токов статора становится не равной нулю, что ведет к неверному координатному преобразованию в прямом координатном преобразователе. Все вышеперечисленные особенности приводят к неработоспособности электропривода в двухфазном режиме работы.

Из приведенных переходных процессов (рис. 2) видно, что в случае возникновение аварийной ситуации происходит увеличение токов, протекающих по обмотке статора, и опрокидывание двигателя, при этом электромагнитный момент меняет свой знак, т.е. становится тормозным.

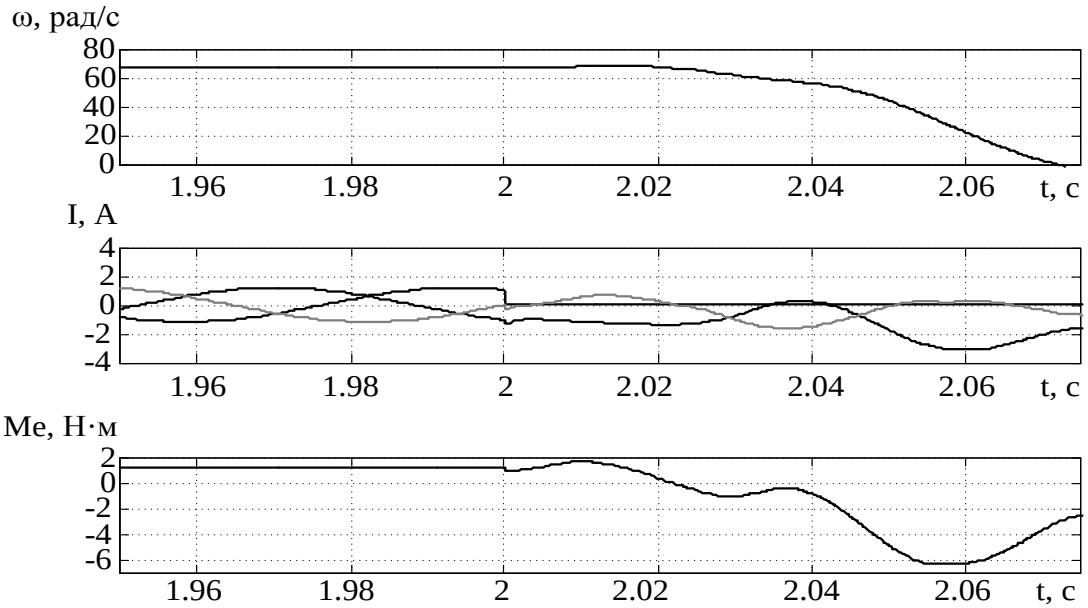


Рис. 1. Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при обрыве фазы статора без использования алгоритмов восстановления

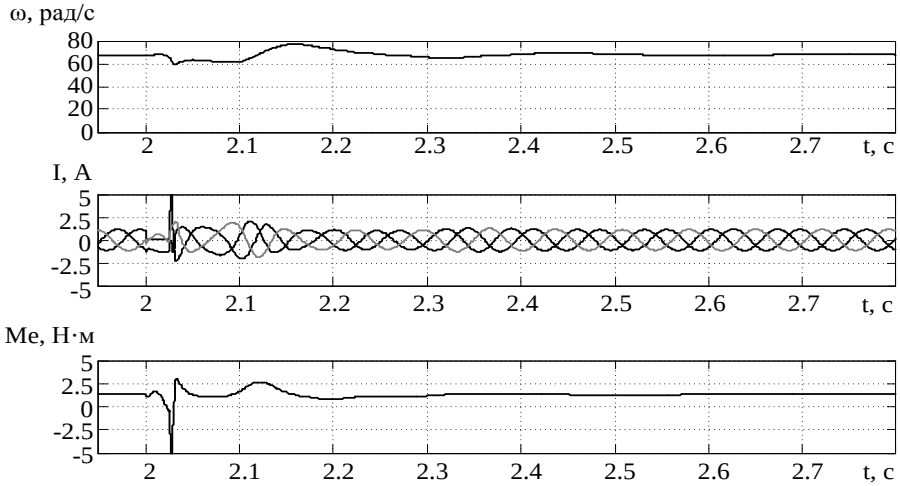


Рис. 2. Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при обрыве фазы статора и подключением структурного резерва

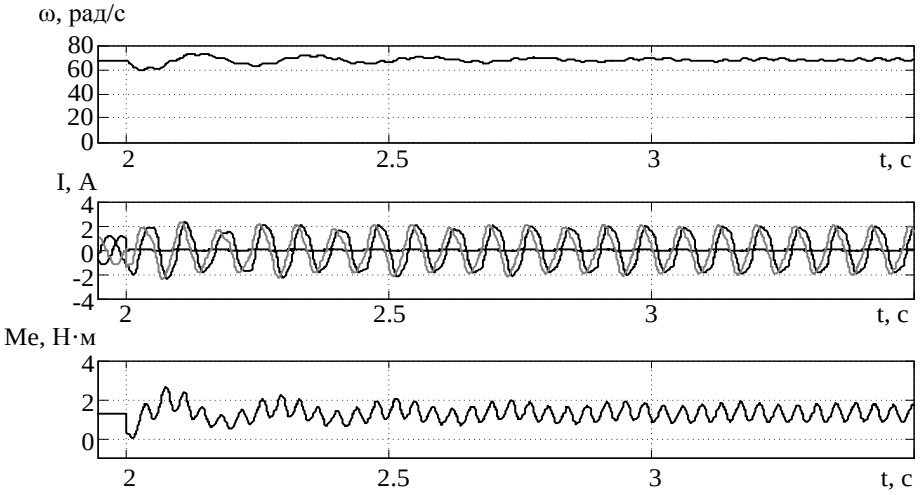


Рис. 3. . Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при обрыве фазы статора и подключением функционального резерва

Использование структурного резерва (рис. 2) позволяет полностью восстановить работоспособность электропривода при возникновении аварийной ситуации типа «невключение» и «невыключение» силового ключа преобразователя частоты. Анализируя графики переходных процессов, видно, что после переключения структуры электропривода наблюдается бросок тока, превышающий установившейся ток в 3.73 раза. Провал частоты вращения составляет 11,5% от установившегося значения.

При задействование функционального резерва (рис. 3) происходит увеличение амплитуды тока, что обусловлено необходимостью компенсации недостатка мощности, возникшей вследствие обрыва фазы статора. Частота вращения носит колебательный характер и амплитуда колебаний не превышает 2.9% от заданной частоты вращения, при этом провал по частоте вращения во временя переходного процесса достигает 15.5% от заданной частоты.

Таким образом, использование алгоритмов восстановления позволяет сохранить круговое вращающееся поле в двигателе и обеспечить его работу, как при функциональном, так и при структурном резерве.

При использовании функционального резерва возникают колебания частоты вращения в установившемся режиме, а амплитуда тока в двухфазном режиме превышает амплитуду тока в трехфазном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: Монография. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 187 с.
2. Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского Политехнического университета, 2007. – 152 с.
3. Однокопылов Г. И. , Брагин А. Д. Векторное управление отказоустойчивым асинхронным электроприводом // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2013 - №. 2. - С. 327-330

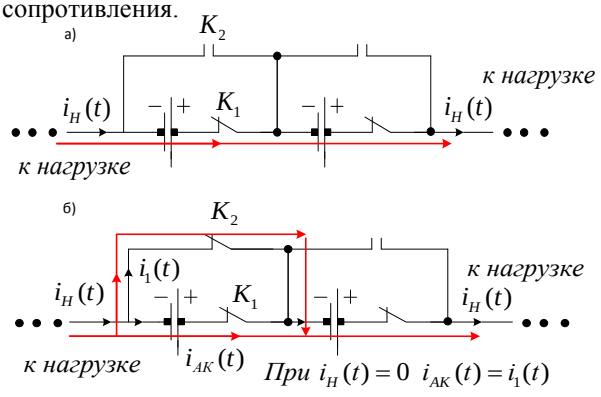
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ БАЙПАСНОГО УСТРОЙСТВА

Брянцев А.А.
Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 7a96@mail.ru

В настоящие время в современных космических аппаратах повышаются требования к энергово-оруженности и срока службы эксплуатации оборудования не менее 20 лет [1, 2]. Определяющими характеристиками таких источников энергии, как литий – ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ), широко используемые в автономных объектах, являются надежность и ресурс. В связи с этим, важное значение имеют свойства таких обязательных элементов аккумуляторов в составе батареи, как байпасные устройства (БУ).

Использование низковольтных контактов в качестве коммутаторов БУ позволяет наиболее эффективно обеспечить переключение силовых цепей ЛИАБ при локализации аварийных аккумуляторов. Одним из вариантов такого решения является промышленно выпускаемое устройство, в котором управление БУ и движение силовых контактов осуществляются последова-тельно во времени и не связаны между собой электромеханическим преобразованием [3, 4].

Механическое перемещение подвижного контакта, после срабатывания фиксатора термомеханического преобразователя, непосредственно коммутирует цепи аккумулятора и реализует необходимый алгоритм работы байпасного устройства с обязательным выполнением условия неразрывности цепи «электрическая нагрузка – аккумуляторная батарея» (рис.1). Непременным условием для БУ данного типа является обеспечение минимального переходного сопротивления $R_{ПЕР}$ контактов во всех режимах его работы, это связано с изменением свойств и характеристик поверхностного слоя материалов контактов, которые могут способствовать увеличению переходного сопротивления.



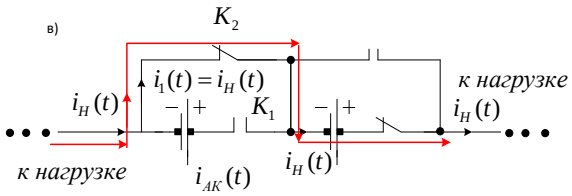


Рис. 1. Схема переключения контактов байпасного устройства на примере двух аккумуляторов: а) нормально эксплуатационный режим; б) режим короткого замыкания аварийного аккумулятора; в) режим локализации аварийного аккумулятора.

Возможность холодного сваривания подвижного и неподвижного контактов при длительном хранении и эксплуатации байпасного устройства повышает вероятность появления нежелательных явлений в пограничных слоях контактирующих материалов [5].

Кроме того, при возникновении искровых явлений и дугового разряда между неподвижным и набегающим контактами, могут возникать значительные повреждения поверхностей контактов БУ, что будет приводить к возрастанию переходного сопротивления после переключения устройства - в режиме локализации аварийного аккумулятора.

В докладе рассматривается модификация БУ (рис. 2) промышленно выпускаемого устройства [3]. Расположение неподвижных контактов 9 и 11 на разном расстоянии от среднего неподвижного контакта 10, а также выполнение отверстий в них с одинаковыми радиусами закругления n-участков внутренней поверхности R_1 не более 0,05 мкм определяют стабильное значение переходное сопротивление контактов после активации байпасного устройства [6].

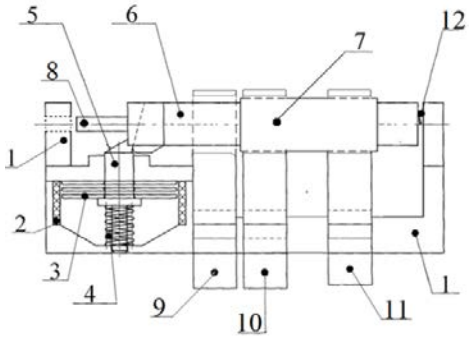


Рис. 2. Байпасное устройство в исходном - не активированном состоянии:

корпус 1; термомеханический преобразователь 2; набора тарельчатых элементов 3; двойная цилиндрическая пружина 4; фиксатором 5; исполнительном механизме 6; подвижный контакт 7; стопором 8; неподвижные контакты 9, 10 и 11; рабочая пружина 12.

Выполнение фасок отверстия неподвижного контакта 9, расположенного по направлению движения подвижного контакта 7 с одинаковым радиусом закругления R_2 не более 100 мкм, обуславливает равномерное распределение электрических зарядов по внешней поверхности контакта 9, что исключает появление искры с последующим возникновением дуги в окрестности сближающихся контактов 7 и 9 [7]. Это делает возможным сохранение качества поверхностного слоя подвижного электрического контакта 7 в процессе его движения и обеспечивает стабильное переходное сопротивление между неподвижным 9 и подвижным контактом 7 после активации байпасного устройства.

С учетом данных особенностей работы байпасного устройства, рассматривается несколько методов оценки значений переходного сопротивления контактов, позволяющих получить определенные функциональные зависимости от параметров внешней среды [8 - 12]. При этом предполагается, что сопротивление поверхностных пленок на контактах БУ имеет незначительную величину и не оказывает существенного влияния на процессы холодной сварки металлов.

Для конкретной конструкции байпасного устройства и материалов его составных элементов выполнен сравнительный анализ методов расчета переходного сопротивления контактов, отражающий влияние основных характеристик соприкасающихся поверхностей (рис.3). В результате сравнения с экспериментальными данными установлено, что одним из адекватных методов расчета переходного сопротивления $R_{ПЕР}$ можно считать метод, приведенный в [8].

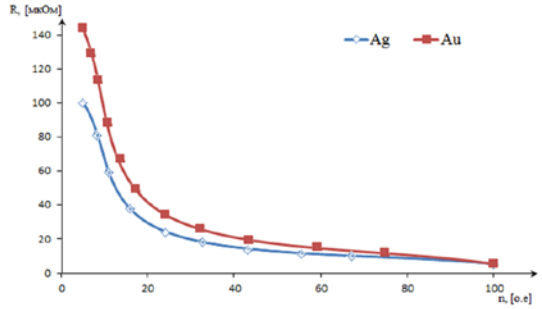


Рис. 3. График переходного сопротивления контактов.

Для расчетов используется зависимость: $\frac{1}{R^n_{ПЕР}} = \frac{2}{\rho}\sum_1^n \alpha_n$, где ρ –удельное сопротивление эквивалентного проводника;

α –радиус круговой поверхности соприкосновения; n –количество контактных площадок.

Такая зависимость учитывает наличие неровностей (микрошероховатостей) на поверхности контактов, параметры точек соприкосновения (параллельно включённых сопротивлений отдельных областей стягивания), изменение характеристик контактирующих поверхностей, температурную нестабильность внешней среды.

Литература

1. Каменев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые системы связи. М.: Военный парад, 2010. С.341 – 343.
2. Груздев А. И. // Электрохимическая энергетика.2011. Т. 11, №3. С. 128 – 135.
3. http://www.saturn.kuban.ru/ - официальный сайт ОАО «Сатурн».
4. Патент РФ № 2415489 Байпасный переключатель/ Галкин В.В., Шевченко Ю.М., Бледнова Ж.М., Проценко Н.А. Опубликовано: 27.03.2011.
5. Айнбиндер С.Б. Холодная сварка металлов. – Рига, Изд.-во АН Латв. ССР, 1957. – 162 с.
6. Торхов Н.А., Новиков В.А. Влияние периферии контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки на их электрофизические характеристики. //Физика и техника полупроводников, 2011, том 45, вып. 1, С. 70-86.
7. Чуприк А.А. Развитие методов сканирующей зондовой микроскопии для исследования электрофизических свойств материалов наноэлектроники и структур на их основе: Автореф. дис… канд. физ.-мат. наук. – Долгопрудный, МФТИ (ТУ), 2005. – 10-14 с.
8. Хольм Р. Электрические контакты. Пер. с англ. – М.: изд.-во иностр. лит., 1961. – 20-56 с., 203-206 с.; Усов В.В. Металловедение электрических контактов. М.: Госэнергоиздат, 1963. – 58 с.
9. Сахаров П. В.Проектирование электрических аппаратов. Общие вопросы проектирования: учебное пособие. — М.: Энергия, 1971. — 560 с.
10. Мерл В. Электрический контакт. Теория и применение на практике. М. – Л: Госэнергоиздат, 1962. — 80 с.
11. Родштейн Л. А. Электрические аппараты: учебное пособие, 4-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 304 с.
12. Чунихин А. А.Электрические аппараты. Общий курс : учебник для вузов, 4-е изд., стер. — М.: Альянс, 2008. — 720 с.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Горбунов Р.Л.[1]
Научный руководитель: Посконный Г.И., к.т.н., доцент[2]
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т. Ленина, 30
[2]Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ, 624130, Россия, г. Новоуральск, ул. Ленина, 85
E-mail: romangorbunov91@gmail.com

Регулирование напряжения в статорных цепях асинхронного двигателя ряда механизмов позволяет без нарушения технологического процесса значительно повысить энергетические показатели двигателя (КПД и коэффициент мощности), обеспечивая тем самым более высокую энергоэффективность асинхронного электропривода [1, 2].

Преобразователь напряжения должен самодостаточно обеспечивать работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором выполняя следующие функции:

– плавное регулирование первой гармоники напряжения на статорных обмотках двигателя в установившихся и переходных режимам работы;
– плавный пуск двигателя (плавным повышением напряжения; с ограничением пускового тока, момента);
– квазичастотный (режим циклоконвертирования) или комбинированный пуск двигателя;
– функции защиты двигателя и преобразователя в аварийных режимах и при перегрузках.

Сегодня в промышленности для регулирования напряжения на статорных обмотках асинхронного двигателя в основном используются регуляторы с фазовым управлением, силовая схема которых строится на приборах с естественной коммутацией. Популярность таких устройств обусловлена простотой силовой схемы, высоким КПД и надёжностью. Несмотря на эти достоинства преобразователи обладают рядом известных недостатков: неудовлетворительное качество выходного напряжения с содержанием низкочастотных гармонических составляющих (5, 7, 11-я гармоники и др.), прерывистый входной/выходной ток, отстающий сдвиг по фазе между выходным и входным напряжениями и т.д. В результате увеличиваются потери в двигателе, возрастает потребление реактивной мощности системой, в сеть генерируются низкочастотные гармоники тока, ухудшаются динамические свойства двигателя и т.д.

Регулирование напряжения на двигателе могут осуществлять и преобразователи частоты (ПЧ). ПЧ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) обладают сравнительно высоким качеством выходного напряжения и способны изменять частоту основной гармоники напряжения, что расширяет функциональные возможности привода. Тем не менее в системах, где не требуется регулирование скорости вращения вала двигателя применение ПЧ не является рациональным ввиду их высокой стоимости. Матричные ПЧ и ПЧ с активным выпрямителем, характеризуемые высоким качеством потребляемого из сети тока, в разы превышают стоимость тех же регуляторов напряжения с фазовым управлением. Наиболее популярные и дешёвые ПЧ с ШИМ, выполненные по двухзвенной схеме «неуправляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения», хотя и характеризуются довольно высоким коэффициентом мощности при наличии дросселя в звене постоянного тока (около 0,9), но все же генерируют в сеть низкочастотные гармоники, что зачастую требует установки дорогостоящих фильтров. Это существенно увеличивает стоимость ПЧ, которые и так дороже преобразователей с фазовым регулированием, а также снижает КПД преобразователей [3].

Кроме регуляторов с фазовым управлением и ПЧ с ШИМ известно множество других классов преобразователей, используемых для регулирования и стабилизации переменного напряжения, регулирования реактивной мощности, компенсации провалов в кривой напряжения и т.д. Большую группу составляют трансформаторные регуляторы с вольтодобавкой, способные регулировать напряжение как в большую, так и в меньшую сторону. Однако, для асинхронного двигателя диапазон регулирования выходного напряжения должен быть ограничен номинальным напряжением двигателя, иначе машина может перейти в насыщение. Также, трансформатор увеличивает масса-габаритные параметры преобразователя и стоимость.

Для регулирования напряжения на статорных обмотках асинхронного двигателя также используются многозонные регуляторы переменного напряжения, использующие симбиоз дискретного амплитудного и фазового или амплитудного и широтно-импульсного регулирования [4]. При реализации устройств первого типа используются входные конденсаторные делители напряжения, а в качестве управляемых вентилей используются однооперационные тиристоры. Схемы второго типа строятся на транзисторах с входными индуктивно-ёмкостными цепями.

Несмотря на довольно высокие энергетические показатели зонных регуляторов по сравнению с регуляторами с фазовым управлением, схемы содержат большое количество реактивных элементов. Также в спектре выходного напряжения не удаётся полностью избавиться от низкочастотных гармоник.

В результате анализа особенностей существующих и активно используемых сегодня силовых преобразователей напряжения с учётом требуемых функций и основного назначения преобразователя были сформулированы основные требования к разрабатываемому преобразователю:

- высокое качество выходного напряжения;
- минимальная стоимость;
- высокая электромагнитная совместимость с питающей сетью;
- высокий КПД;
- отсутствие силовых трансформаторных цепей и цепей с мощными реактивными элементами.

Под высоким качеством выходного напряжения подразумевается полная симметрия напряжения, отсутствие постоянной составляющий и минимальная величина гармоник. При этом важно учитывать, что двигатель более чувствителен к низкочастотным гармоникам, а их фильтрация является наиболее проблематичной.

Стоимость преобразователя является одним из наиболее важных требований определяющим конкурентоспособность преобразователя на современном рынке.

Требование к электромагнитной совместимости с питающей сетью сегодня является особенно актуальным и накладывает требования на преобразователь как на потребитель электроэнергии [5]. В идеале преобразователь должен потреблять из сети чисто синусоидальный ток, что затруднительно в случае импульсных схем. Поэтому желательно чтобы преобразователь, хотя бы в основном режиме работы, имел минимальный коэффициент гармоник тока при отсутствии низкочастотных гармоник.

По мнению авторов, наиболее перспективным является построение преобразователя на основе широтно-импульсного регулятора переменного напряжения (ШИРПН) (в англоязычной литературе – «AC chopper»). ШИРПН выполняется на полностью управляемых ключах с двусторонней проводимостью (Рис. 1) и позволяет осуществлять высокочастотное регулирование выходного напряжения в диапазоне 0-100% (Рис. 2). Сдвиг по фазе между входным и выходным напряжением отсутствует. При базовом законе управления выходное напряжение содержит основную гармонику с частотой сети и гармоники в области частот кратных частоте коммутации. На входе преобразователя устанавливается фильтр нижних частот для подавления модуляционной составляющей и обеспечения безопасной коммутации ключей.

Имеется большое число схемных реализаций трёхфазных ШИРПН обладающие своими особенностями. Несмотря на множество работ, связанных с исследованием и разработкой этих преобразователей [6], имеется ряд нерешённых проблем.

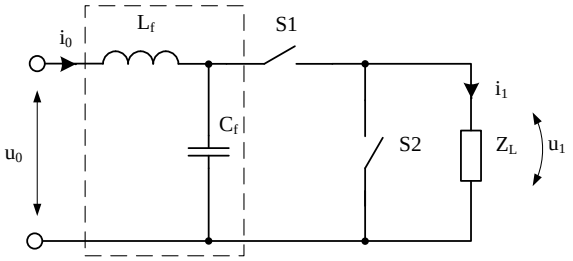


Рис. 1. Силовая схема ШИРПН в однофазном исполнении

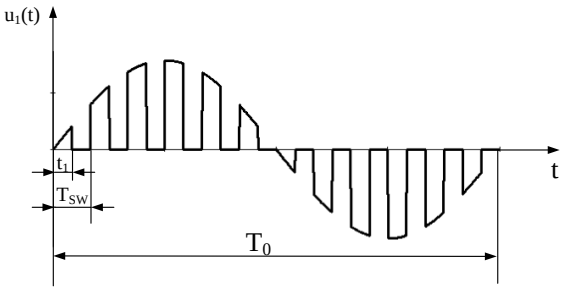


Рис. 2. Форма выходного напряжения ШИРПН

В докладе показано, что разработка преобразователя напряжения для асинхронного двигателя является актуальной научно-технической задачей. Исходя из выполняемых функций и с учётом особенностей популярных на сегодня устройств сформулированы требования к разрабатываемому преобразователю и его системе управления. Обозначены основные задачи, решение которых необходимо для успешного внедрения преобразователя в асинхронный электропривод.

Список литературы

1. Браславский И.Я. О возможностях энергосбережения при использовании регулируемых асинхронных электроприводов // Электротехника. – 1998. – № 8. – С. 2–6.
2. Ляхомский А.В., Бабокин Г.И. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий. – М.: Горная книга, 2011. – 232 с.
3. Harmonic Distortion of the AC Power Line // Danfoss Whitepaper. – 2011. – 7 p.
4. Удовиченко А.В. Регуляторы переменного напряжения с улучшенной электромагнитной совместимостью для электротехнических систем улучшения качества электрической энергии: дис. … к-та техн. наук. – Новосибирск, 2013. – 167 с.
5. Hoevenaars T., LeDoux K., Colosino M. Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications // IEEE Paper No. PCIC-2003-15. – 2003. – 6 p.
6. Arvindan A.N., Prashanthi S. Investigation for Power Quality in a PWM AC Controller Feeding a Three-Phase Three-Wire WYE Connected Load // IPEC–2010. – Singapore, 2010. – P. 648–653.

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS

Диаб А.А.З.
Научный руководитель: Панкратов В.В., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, Россия 630073, г. Новосибирск, пр.Карла Маркса, 20
E-mail: engahmedz@yahoo.com

Аннотация. В статье рассматриваются варианты аппаратной реализации системы бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом с использованием Преобразователя TMDSHVMTRPFCKIT Компании Texas Instruments. Дан анализ современных контроллеров для систем электропривода и предлагается вариант отладки разработанных алгоритмов по исследованию бездатчикового векторного управления асинхронного электропривода.

Рассмотрена структурная схема системы управления и алгоритмы цифровой реализации ее элементов. Представлены результаты математического моделирования процессов при работе векторного управления асинхронного электропривода. Более того, приведены результаты экспериментальных исследований.

Схема Системы Управления Асинхронным Электроприводом

Функциональная схема модифицированной системы управления асинхронным электроприводом приведена на рис. 1 [1-5].

Математической алгоритм и синтез системы бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом может быть показано в нашу работу [2-5]:

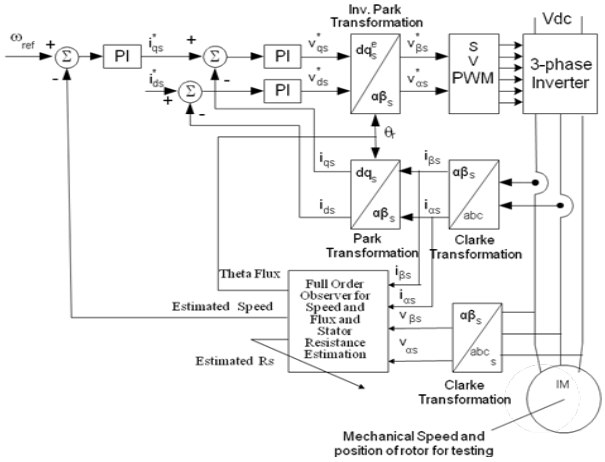


Рис. 1. Функциональная схема системы управления

Методология настройки системы бездатчикового векторного управления

Настройка бездатчиковой векторной системы управления заключается в правильном конфигурировании и параметрировании ПЧ [6-7]. Программное обеспечение построено таким образом, чтобы максимально облегчить настройку системы. Опытный разработчик может вести параметрирование и конфигурирование ПЧ через внутрисхемный эмулятор JTAG в режиме реального времени с использованием средств визуализации и отладки, которые доступны в CodeComposerStudio v5. В любом из этих случаев необходимо провести ряд действий.

Система управления создана на базе отладочного комплекта TMDSHVMTRPFCKIT с модулем управления Piccolo F28035 controlCARD производства Texas Instruments в среде программирования цифровых сигнальных процессоров CodeComposerStudio v5.

TMDSHVMTRPFCKIT (High Voltage Motor Control and PFC Developers Kit) – это отладочный набор компании Texas Instruments. Силовая часть преобразователя состоит из звена постоянного тока, корректора мощности (PFC) и трехфазного транзисторного инвертора (IPM). Корректор необходим для равномерного использования мощности, он обеспечивает отсутствие выплесков потребляемого тока на вершине синусоиды и равномерную нагрузку. PFC питается напряжением сети переменного тока (~110…~240 В) и обеспечивает выходную мощность до 750 Вт. Модуль инвертора может питаться или от PFC или от отдельной силовой ступени с напряжением до 400 В и отдавать на выход мощность до 1,5 кВт.

Двигатель АД управляется от автономного инвертора напряжения. Система управления реализована на базе процессора TMS320F28035, которая генерирует сигналы широтно-импульсной модуляции для формирования синусоидального напряжения на статоре двигателя. Сигналы с датчиков тока и датчика напряжения шины постоянного тока поступают через АЦП в систему управления. Экспериментальное оборудование показано на рис. 2.

Результаты моделирования.

Цифровое моделирование разработанного алгоритма в составе системы «бездатчикового» асинхронного электропривода на базе электродвигателя MARATHON ACI GE 5K33GN2A с векторным управлением производилось в среде MATLAB/Simulink.

Рис. 2. Экспериментальное оборудование

На рис. 3 в качестве примера представлены графики переходных процессов по электрической частоте вращения ротора, задающим воздействиям на токи в ориентированной по вектору оценок потокосцеплений ротора системе координат и трехфазных токов статора АД.

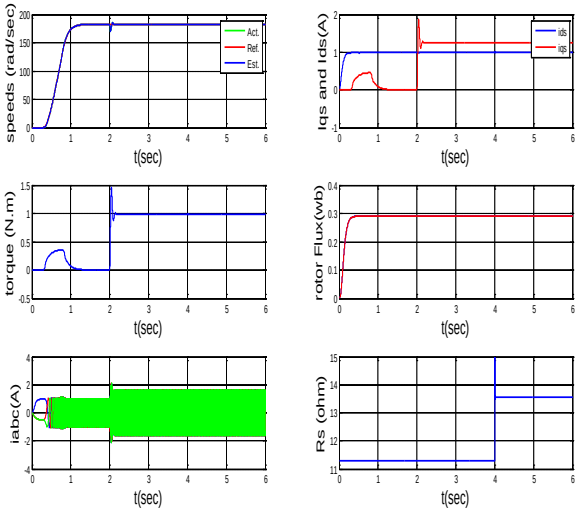


Рис. 3. Переходные процессы в «бездатчиковый» системе векторного управления

Результаты эксперимента.

На рис. 4. представлены временные диаграммы процессов в скорости и току фазы А двигателя полученных на экспериментальной установке при разгоне привода со скорости 0,2 о.е. на скорость 0,4 о.е. Отметим, что частота вращения ротора и задания вращения ротора почти одинаковы, что подтверждает эффективность бездатчикового векторного управления системы на очень низких частотах вращения. Кроме того на рис. 4. представлена форму фазного тока двигателя. Отметим, что токи не являются синусоидальными в установившемся режиме работы.

Выводы

В данной статье исследуется реализации системы БЕЗДАТЧИКОВОГО векторного управления асинхронным электроприводом с использованием Преобразователя TMDSHVMTRPFCKIT Компании Texas Instruments. Практические Результаты получены показано, высокой точности стабилизации заданных скорости и момента, быструю реакцию на внешние возмущающие воздействия при требуемом качестве переходного процесса.

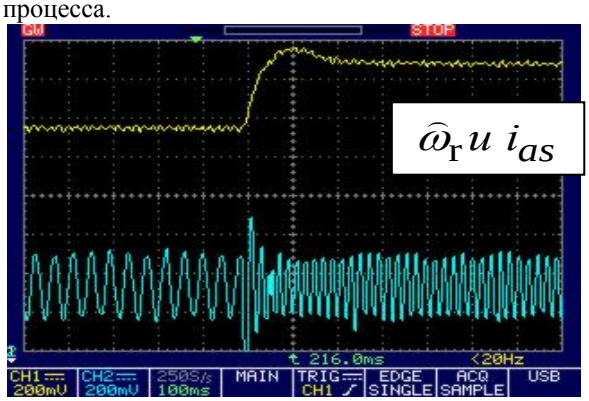


Рис. 4. Графики переходных процессов по частоте вращения и току фазы А двигателя при разгоне привода со скорости 0,2 о.е. на скорость 0,4 о.е.

Литература

1. P. Vas, “The control of AC machines”, Oxford Univ., 1990.
2. Ahmed A. Zaki Diab and Vladimir V. Pankratov, “Model Predictive Control of Vector controlled Induction Motor Drive”, the 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012, IEEE Conference on, Tomsk, September 17- 21, 2012, V II, p. 21 – 26.
3. Диаб, А.А.З. Непосредственное векторное управление асинхронными электроприводами с использованием прогнозирующих моделей [Электронный ресурс] / А.А.З. Диаб, Д.А. Котин, В.В. Панкратов// Инженерный вестник Дона, 2014, №1. – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2247 (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Diab, A.A.Z.; Kotin, D.A.; Pankratov, V.V., "Speed control of sensorless induction motor drive based on model predictive control," Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2013 14th International Conference of Young Specialists on , vol., no., pp.269,274, 1-5 July 2013.
5. Vdovin, V.V.; Kotin, D.A.; Pankratov, V.V., "State observer for sensorless vector control of doubly fed induction motor," Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2013 14th International Conference of Young Specialists on , vol., no., pp.382,388, 1-5 July 2013.
6. Texas Instruments C2000 Systems and Applications Team. High Voltage Motor Control and PFC (R1.1) Kit Hardware Reference Guide., v.2, 2012.
7. Texas Instruments. CONTROLSUITE. http://www.ti.com/tool/controlsuite.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МАСЛОПРОКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА ТЕПЛОВОЗА

Дрозд А.С.
Научный руководитель: Столярова О.О., к. т. н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: JoeLogBlack@gmail.com

Одной из актуальных проблем электродвигателей постоянного тока в настоящее время является неудовлетворительное тепловое состояние. Решение проблемы заключается в применении разного вида конструкций двигателя.

В статье сравниваются два варианта конструкции электродвигателя. Первый вариант – электродвигатель с классической станиной, выполненной из цельного куска железной трубы с маркой стали Ст3. Во втором варианте рассмотрен двигатель со станиной, выполненной из электротехнической стали 2412 покрытой алюминиевым сплавом или запрессованной в алюминиевую трубу.

Целью работы является анализ теплового состояния двигателя постоянного тока для маслопрокачивающего насоса тепловоза при двух вариантах станин.

В настоящее время практикуется изготовление станин двигателей постоянного тока по первому варианту. Основным достоинством применения железной трубы является низкая стоимость. Существенными недостатками является низкое значение индукции, низкое качество материала, следствием чего является увеличение потерь в обмотках, увеличение массы меди и ухудшается тепловое состояние двигателя.

За базовый электродвигатель был взят четырехполюсный двигатель постоянного тока для маслопрокачивающего насоса тепловоза с номинальной мощностью P_2=4,6кВт, номинальное напряжение $U_н$=110В, номинальная частота вращения n=1500 об/мин, высота оси вращения h=160 мм. Особенности расчета учтены с помощью [1, 2].

Предлагаемый в статье подход применения станины из электротехнической стали (второй вариант) основан на идеи уменьшения отходов стали при производстве, уменьшения потерь в станине, уменьшение веса. За счет применения электротехнической стали достигается уменьшения плотности токов в обмотках. Покрытие станины алюминием позволяет улучшить отвод тепла через корпус в окружающую атмосферу по средству свободной конвекции.

В качестве расчетной программы используется программа MathCAD. Полученные результаты расчета позволяют утверждать, что при втором варианте станины снизились плотности токов в обмотках. Как следствие этого уменьшение тепловыделения, уменьшение потерь, следовательно, повышение коэффициента полезного действия (КПД). КДП при стальной станине составляет 81,2%, при станине из электротехнической стали, покрытой алюминиевым сплавом - 82,3%.

Для визуальной оценки теплового состояния двигателя создана модель магнитной цепи в программе Elcut. Программа Elcut позволяет смоделировать нестационарное тепловое состояние электрической машины и предоставляет графическое изображение с возможностью точного определения температуры в каждой точке магнитной цепи, а так же строит зависимость температуры нагрева электродвигателя от времени.

Для построения модели необходимо построить чертеж, задать каждой части модели численные значения объемной мощности тепловыделения, удельную теплопроводность [3], удельную теплоемкость [4]. Затем задаются граничные условия и способы охлаждения. В качестве граничных условиях указывается температура охлаждающего воздуха внутри машины и снаружи. Способом охлаждения наружной поверхности является конвекция, внутренней – конвекция с учетом коэффициентов теплоотдачи и скорости движения воздуха. После задания коэффициентов и численных значений накладывается расчетная сетка и выполняется автоматизированный расчет.

Результаты модели теплового состояния электродвигателя при первом варианте станины представлены на рис. 1, при втором варианте станины на рис. 2. Графики зависимости возрастания температуры электродвигателя от времени T=f(t) представлены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

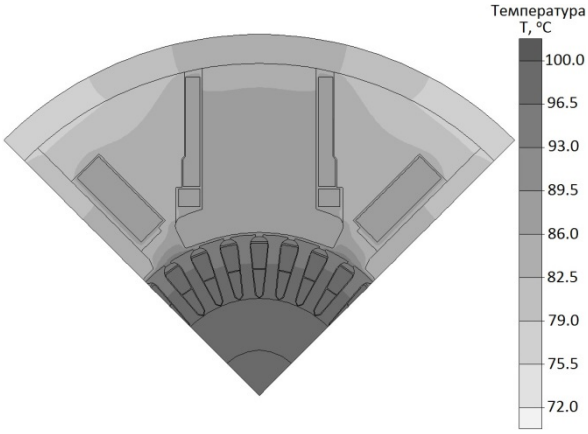


Рис. 1. Модель магнитной цепи электродвигателя при первом варианте станины в программе Elcut

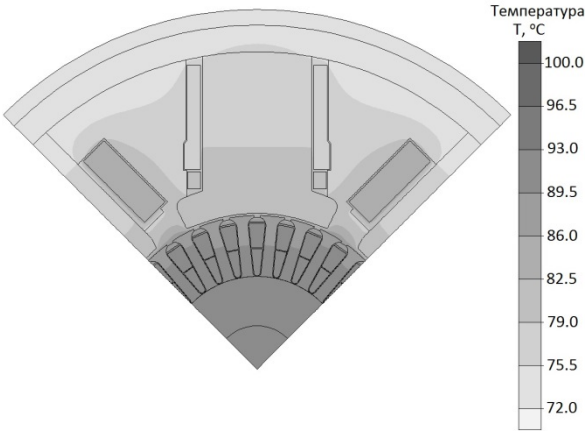


Рис. 2. Модель магнитной цепи электродвигателя при втором варианте станины в программе Elcut

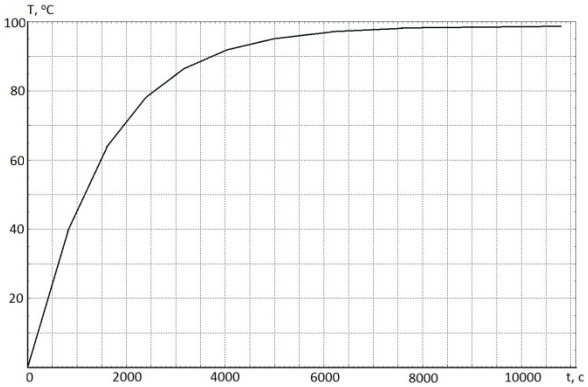


Рис. 3. График зависимости возрастания температуры от времени T=f(t) электродвигателя при первом варианте станины в программе Elcut

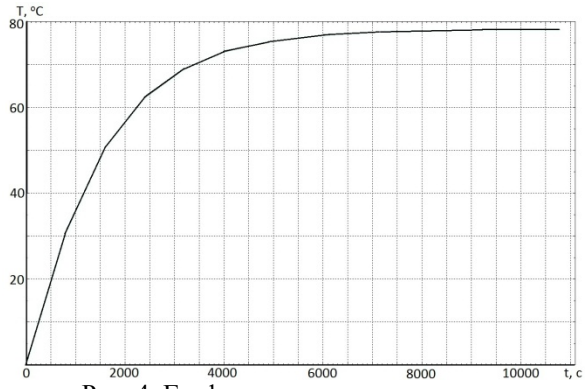


Рис. 4. График зависимости возрастания температуры от времени T=f(t) электродвигателя при втором варианте станины в программе Elcut

Из полученных результатов, представленных на рис. 1-4, видно, что установившееся температура электродвигателя со станиной из электротехнической стали, покрытой слоем алюминиевого сплава на 18 градусов ниже по сравнению с двигателем со стальной станиной, что является существенным при повышенных требованиях нагрева двигателя. Локальные значения температур представлены на рис. 1 и 2 с разбиением их на 10 оттенков серого, позволяя наглядно оценить разницу нагрева отдельных частей. Результаты расчетов, выполненные в программе MathCAD, показывают, что температура охлаждающего воздуха внутри электродвигателя над температурой окружающей среды уменьшается с 7,5°C до 7,0°C. Так же результаты расчеты показали, что среднее превышение температуры обмотки возбуждения машины над температурой окружающей среды снизилось с 70,4°C до 48,4°C и среднее превышение температуры обмотки добавочных полюсов над температурой охлаждающей среды уменьшилось с 69,2°C до 68,3°C. Полученные значения характеризуют о снижении температуры внутри электродвигателя и как следствие уменьшение нагрева машины.

Таким образом, улучшить тепловое состояние электродвигателя для маслопрокачивающего насоса тепловоза можно за счет применения станины из электротехнической стали, покрытой слоем алюминия или запрессованной в алюминиевую трубу. Результатом улучшения является снижение установившейся температуры электродвигателя на 18°C, полученные результатом моделирования в программе Elcut, что влечет за собой повышение надежности изоляции и увеличения срока службы изделия. Следовательно, применение станины из электротехнической стали достигается снижение плотностей тока в обмотке возбуждения, стабилизирующей обмотке и обмотке добавочных полюсов позволяет при изменении параметров обмоток уменьшить массу меди, а значит и стоимость активных частей. Применением станины из электротехнической стали 2412 по сравнению со станиной из стали Ст3 позволяет увеличить КПД электродвигателя на 1,1%, что является экономически целесообразным при эксплуатации. Электродвигатель с улучшенными тепловыми характеристиками можно использовать в более суровых тепловых климатических условиях, например, в жарких странах или рядом с тепловыделяющими установками.

Список литературы:

1. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров/под ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2012. -767 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.
2. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. Заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л, «Энергия», 1974, 840 с. с ил.
3. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. М.: Мир, 1968. - 464 с.
4. Е. М. Лифшиц Теплоёмкость // под. ред. А. М. Прохорова Физическая энциклопедия. — М.: «Советская энциклопедия», 1998. — Т. 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ

Зыль К.А.
Научный руководитель: Иванова А.Г., аспирант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kris-90@yandex.ru

Настоящая работа представляет собой продолжение исследований магнитной цепи моментного двигателя с ленточной намоткой [1,2,3]. Аналитические исследования проводились для магнитной цепи макета двигателя с различными значениями воздушного зазора и длины магнитов.

В процессе проведения исследований задавалась магнитная цепь двигателя, состоящая из внешнего и внутреннего магнитопровода. Геометрия магнитной цепи представлена на рисунке 1. Внешний магнитопровод (поз.1) имеет форму кольца, к которому через 45° монтируются 8 полюсов постоянных магнитов NdBFe (неодим-железо-бор). Внутренний магнитопровод (поз.2) представляет собой зубчатую конструкцию. Изменяя размеры длин постоянных магнитов, можно варьировать величину воздушного зазора. Внешний и внутренний магнитопровод, выполнены из конструкционной стали 25ХМ (международный аналог AISI 4130). В зазор между постоянными магнитами и магнитопроводом будет помещена ленточная намотка из алюминиевой фольги [4].

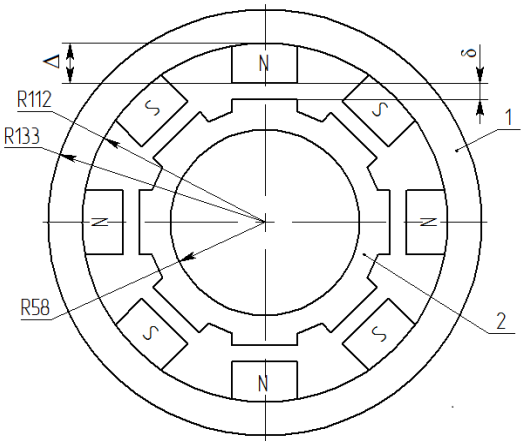


Рис. 1. Размеры магнитной цепи

Численное моделирование магнитной цепи проводилось в новейшем многоплатформенном программном продукте Agros 2D, основанного на библиотеке Hermes для численного моделирования и решения физических задач. Agros 2D был разработан группой исследователей в Западно-Чешском университете в Пльзене [5,6].

Магнитная цепь, представляющая собой распределенную систему сложной геометрической формы, представим в виде совокупности конечных элементов. Конечно-элементная модель представлена на рисунке 2.

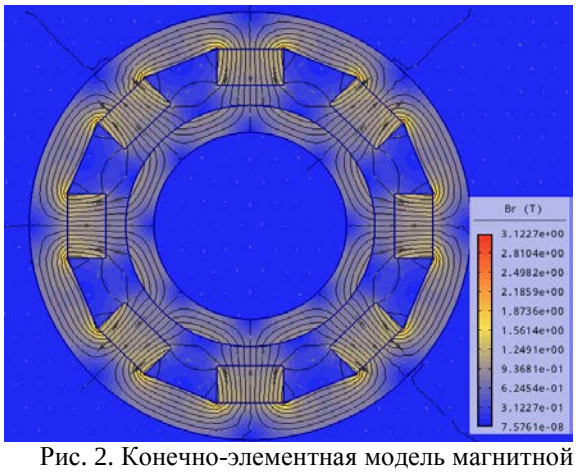


Рис. 2. Конечно-элементная модель магнитной цепи

На рисунке цветом указано распределение магнитной индукции в цепи. Линии показывают векторный потенциал, стрелки показывают направление магнитного потока.

Для определения характера изменения индукции в зазоре, вычисления проводились при длине магнита Δ от 5 до 25 мм с шагом 5 мм, величина зазора δ менялась от 2 до 25 мм. Индукция при этом оценивалась в центре воздушного зазора.

Для определения численного значения индукции использовалось приложение PythonLab - объектно-ориентированного сценария, в котором открывается скрипт с заранее написанной программой для вычисления магнитной индукции на расстоянии указанного радиуса от центра магнитной цепи [6].

На основании полученных значений индукции построены кривые, описывающие зависимость изменения индукции B от величины воздушного зазора δ (рис. 3).

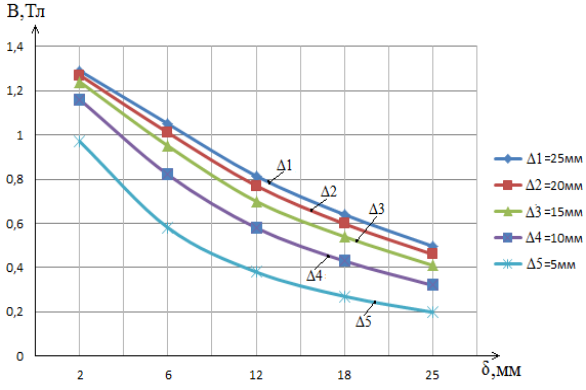


Рис. 3. Характер изменения индукции от величины воздушного зазора

По полученному характеру изменения индукции видно, что при увеличении воздушного зазора, а также при уменьшении длины магнита значение магнитной индукции уменьшается.

Функцию индукции магнитного потока $B(\delta)$ можно аппроксимировать полиномом вида $B(\delta) = a + b \cdot \delta + c \cdot \delta^2$. На рисунке 4 представлена одна из кривых, полученных с использованием аппроксимационного выражения, которая описывает зависимость $B(\delta)$ в пределах рабочего диапазона воздушного зазора; длина магнита при этом 25 мм.

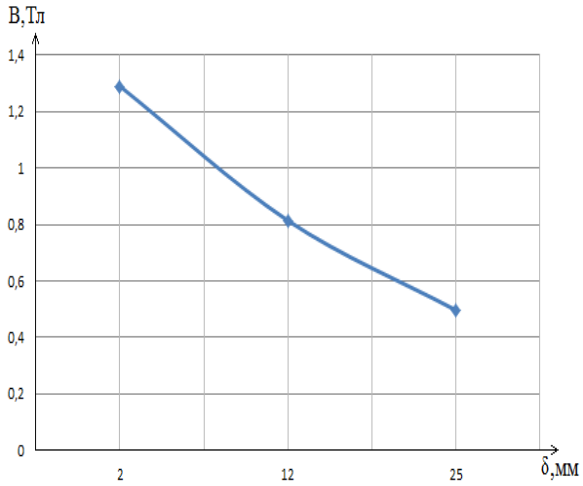


Рис. 4. Характер изменения индукции от длины воздушного зазора

Погрешность аппроксимации в этом случае не превышает долей процента.

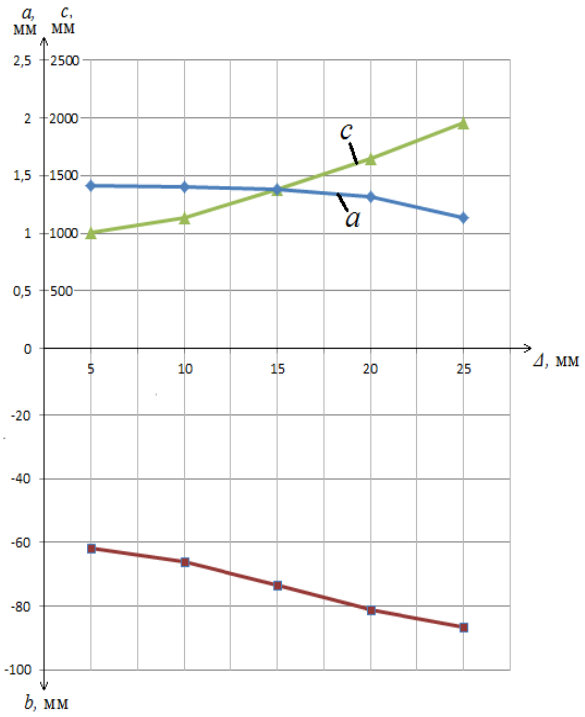


Рис. 5. Зависимость аппроксимационных коэффициентов *a, b, c* от длины магнита *Δ*

При проведении аппроксимации были получены коэффициенты *a, b* и *c*. Ниже приведены зависимости, которые показывают изменение аппроксимационных коэффициентов *a, b, c,* входящих в уравнения, от длины магнита *Δ* (рис.5).

Полученные зависимости *a(Δ), b(Δ)* и *c(Δ)* позволят при определении параметров магнитной цепи задаться необходимой величиной длины постоянного магнита с целью получения оптимальных характеристик моментного двигателя.

Литература:

1. Пат. 2441310 РФ. МПК H02K/26.00. Моментный двигатель/ В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова. Заявлено 20.08.2010; Опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.

2. Иванова А.Г. Характеристики активного элемента моментного электродвигателям // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3т.- Томск: Изд-во ТПУ, 2012. Т.1. С. 361-362.

3. Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н. Выбор параметров активного элемента моментного двигателя с ленточной намоткой // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.- Томск: Изд-во ТПУ, 2013. Т.1. С. 329-330.

4. Мартемьянов В.М., Иванова А.Г. Активный элемент моментного двигателя// Контроль. Диагностика.- 2011.- Специальный выпуск.- С. 109-111.

5. Agros2D [Электронный ресурс]: база данных. - Режим доступа: http://www.agros2d.ru

6. Karban P., Mach F., Kus P., Panek D., Dolozel I. Numerical solution of coupled problems using code Agros2D, Computing (2013) 95 (Suppl 1):S381–S408

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАМВАЕВ

Калугин В. М.
Научный руководитель: Столярова О.О., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: viktor_k@sibmail.com

Одним из распространенных средств общественного транспорта в городской транспортной системе России является трамвай. Основная задача данного вида транспорта является осуществление высокого объема пассажироперевозок. Отказы оборудования трамвая приводят к большим экономическим потерям. Поэтому необходимо обеспечить бесперебойную работу данного транспортного средства. В виду этого целесообразно обеспечить надежность трамвая и его основных узлов. Актуальна не только проблема повышения надежности трамваев, но и также, продления срока службы трамвайных вагонов и, как следствие, сокращения затрат на их ремонт.

Целью статьи является оценка эксплуатационной надежности основных узлов трамваев.

Получение данных и их анализ имеют большое значение при рассмотрении данного вопроса. Были проанализированы данные по неисправностям основных узлов трамвая 71-619 КТ (КТМ-19) . Информация получена при прохождении научно-производственной практики в Томском трамвайно-троллейбусном управлении. Использовались данные по отказам трамваев в период с января 2012 года по декабрь 2013 года. По результатам анализа была построена диаграмма отказов основных узлов трамвая. Диаграмма отказов узлов трамвая представлена на рис. 1.

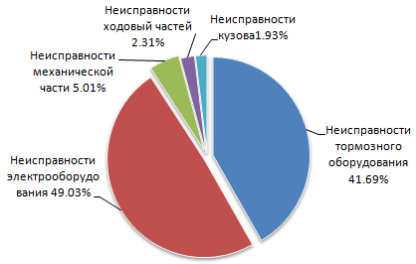


Рис. 1. Отказы основных узлов трамвая в %

Из диаграммы видно, что чаще всего неисправности возникают в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 49,03%), тормозном оборудовании (доля отказов от общего числа составляет 41,69%), механических частей (доля отказов от общего числа составляет 5,01%). Чаще всего в электрооборудовании отказы в данный период происходили из-за неисправностей тягового двигателя. В качестве тягового электродвигателя на трамвае 71-619 КТ (КТМ-19), используется двигатель российского производства, марки ЭК-252. На рис. 2 показана динамика выхода из строя тягового электродвигателя в зависимости от времени года (месяца), где m-число отказов узла.

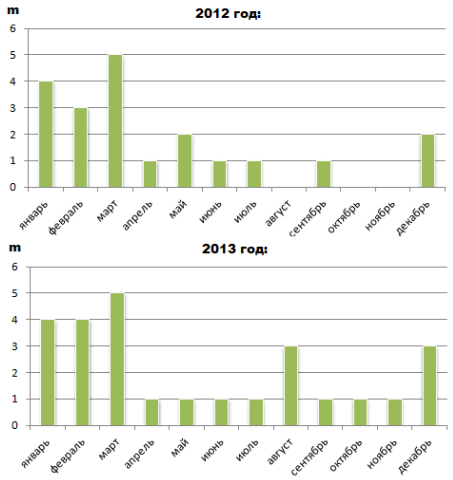


Рис. 2. Динамика выхода из строя тягового электродвигателя в зависимости от времени года

Суммарное количество отказов тягового двигателя за данный период равняется 46. По данным за этот период, которые представлены на рис. 2, была построена диаграмма на рис. 3. Из рис. 3 видно, что основная причина отказа это неисправности шариковых подшипников, которая составляет 36,95% от общего количества выходов из строя тягового двигателя.

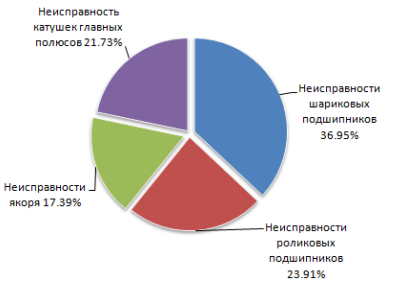


Рис. 3 Отказы основных узлов тягового электродвигателя трамвая 71-619 КТ (КТМ-19) в %

Так как большое количество отказов электродвигателя происходит в виду неисправностей шариковых подшипников целесообразна оценка надежности данных подшипников. При анализе надежности технических устройств особенно важным является статистическая обработка данных об отказах, произошедших в процессе эксплуатации. При этом решаются следующие задачи: определяют вид функции плотности распределения или интегральной функции распределения, вычисляют параметры полученного распределения, помощью критериев согласия устанавливают степень

совпадения экспериментального распределения с предлагаемым теоретическим распределением. Для получения функции распределения отказов необходимо постороить, по полученным данным, математическую модель. Математическая модель включает входные параметры (абсолютная частота отказов $n(\Delta s_i)$- количество наработок на отказ (n) отнесенное к интервалу, границы интервалов Δs_i км, количество интервалов m), выходные параметры (вероятность безотказной работы $P(s)$,интенсивность отказов λ), ограничения (критерий Пирсона $\chi^2 < 6.25$). Произведем математическую обработку, а именно определим числовые характеристики, закон распределения случайной величины, найдем среднюю наработку на отказ и соответствующее среднеквадратичное отклонение. Количество случайных чисел (наработок на отказ) n = 17. Максимальный член ряда s_{max} = 34700 км. Минимальный член ряда s_{min} =200 км. Строим гистограмму, рис. 4.

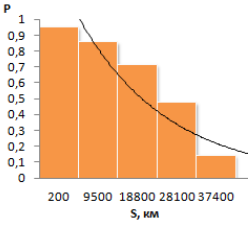


Рис. 4 Гистограмма наработки на отказ шариковых подшипников

По данным из таблицы 1 находим среднюю наработку на отказ всех испытуемых изделий. Дифференциальная функция предполагаемого распределения имеет вид: $f(x) = 0,00005 \cdot e^{-0,00005x}$. Используя таблицы функции e^{-x} из справочной литературы [4], рассчитаем значения плотности для значений середин каждого интервала. По этим значениям строится аппроксимирующая кривая, которая представлена на рис. 5:

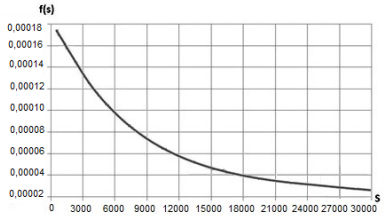


Рис. 5 Аппроксимирующая кривая наработки на отказ

Исходя из характера полученной кривой, можно предположить, что исследуемая величина распределена по экспоненциальному закону. Экспоненциальный закон надёжности справедлив для описания внезапных отказов, когда изделие не успевает ещё износиться. Дальнейшие исследования состоят в проверке совпадения эмпирической кривой распределения, которая осуществляется по критерию Пирсона. Сложив все значения критерия Пирсона для каждого из интервалов, получим искомое $\chi^2 = 1.28$. Распределение критерия Пирсона χ^2 зависит от числа степеней свободы r. В справочной литературе для доверительной вероятности Q=0,9 и числа степеней свободы r = 3 находим значение $\chi^2 = 6.25$. Рассчитанное значение $\chi^2 = 0.952 < 6.25$, следовательно, гипотеза экспоненциальном распределении отказов принимается. В виду этого можно сделать вывод, что для повышения надежности шариковых подшипников следует заменить марку смазки и ограничить попадание влаги губчатой резиной или войлоком, а не менять подшипник целиком.

Таким образом, по полученным данным эксплуатации трамваев было выявлено, что чаще всего неисправности происходят в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 49,03%). Отказы шариковых подшипников подчиняются экспоненциальному закону распределения, это позволит продолжать дальнейшие исследования в области эксплуатационной надежности трамваев.

Список литературы

1. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин//-Машиностроение.- 1989.- 240 с.
2. Зайнетдинов Р.И. Развитие методов оценки работоспособности несущих конструкций подвижного состава с использованием закономерностей самоорганизации/Дис. докт. техн. наук.- М.: МИИТ, 2000.- 435 с.
3. 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/].
4. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В.А. Острейковекий. - М.: Высш..шк., 2003. - 463 е.: ил.

ВЫБОР ВАРЬИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Кашеутов Д. В.
Научный руководитель Баклин В.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kasheutov@sibmail.com

Для привода высокоэффективных, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынке вентиляторов высокой производительности, требуются высоковольтные с номинальным напряжением 6 кВ взрывозащищённые четырёхполюсные асинхронные двигатели мощностью 200 кВт и выше. Эти двигатели должны: хорошо встраиваться в вентиляционную установку, т. е. быть компактными; иметь улучшенные пусковые свойства; удовлетворять эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям для привода вентиляторов и при минимальных габаритных размерах обеспечивать КПД не ниже двигателей аналогов – ВАО или 1ВАО.

Использование для привода вентиляторов серийных высоковольтных взрывозащищённых двигателей типа ВАО, 1ВАО не оправдано из-за их пусковых свойств, конструктивных особенностей и массогабаритных показателей. Поэтому проектирование и создание высоковольтных асинхронных двигателей, предназначенных для привода вентиляторов высокой производительности, является актуальной задачей.

В данной работе рассматривается проектирование взрывозащищённого высоковольтного асинхронного двигателя для привода вентилятора высокой производительности. Номинальная мощность двигателя $P_{\text{н}} = 200$ кВт, номинальное напряжение $U_{\text{н}} = 6$ кВ, число полюсов $2p = 4$.

Требование компактности, предъявляемое к проектируемому двигателю, ограничивает наружный диаметр $D_{\text{н}} = 0{,}66$ м и активную длину сердечника статора $l_1 = 0{,}31$ м.

В вентиляторах интенсивный наружный обдув двигателя осуществляется главным вентилятором, поэтому в проектируемом двигателе имеется возможность исключить радиальные вентиляционные каналы, что существенно упрощает конструкцию сердечника статора. Система вентиляции – аксиальная.

С целью повышения КПД двигателя короткозамкнутая обмотка ротора – сварная из меди. Для снижения массы двигателя станина – сварная из стального проката.

В оптимизационных расчётах обычно используются [1] следующие данные: *постоянные*, неизменные в течение всего расчёта-поиска; *лимитирующие показатели (ограничения)*; *варьируемые переменные*, изменяемые в течение всего расчёта-поиска и *критерий оптимальности*.

Постоянные данные; *лимитирующие показатели* представлены в [1]. При заданных значениях наружного диаметра и активной длины сердечника статора задачей оптимизационных расчётов является определение диаметра расточки статора D_1, обмоточных данных статора, размеров пазов статора и ротора, что и предопределяет выбор варьируемых переменных.

Варьируемые переменные. За варьируемые переменные приняты диаметр расточки статора D_1, число эффективных проводников в пазу статора $U_{\text{п1}}$, ширина прямоугольного провода $b_{\text{м1}}$ обмотки статора, ширина медного стержня в пазу ротора $b_{\text{с2}}$.

При оптимизационных расчётах возникают трудности в выборе значений и пределов варьирования переменных D_1, $U_{\text{п1}}$, $b_{\text{м1}}$.

Существуют рекомендации [3] к выбору диаметра расточки статора как $D_1 = k_D \cdot D_{\text{í}}$. При номинальном напряжении 6 кВ, $2p$=4 коэффициент $k_D = 0{,}61\ldots0{,}66$. Пределы варьирования диаметра расточки статора $D_1 = 0{,}4\ldots0{,}435$ м. Такие пределы варьирования диаметра расточки статора свойственны серийным асинхронным двигателям с кратностью пускового момента $\grave{I}_{\ \ddot{i}} \geq 1$ о. е.

Кратность пускового момента асинхронного двигателя для привода вентилятора обычно не оговаривается и может быть меньше единицы. По рекомендациям МЭК в асинхронных двигателях перспективных разработок кратность пускового момента может быть снижена до 0,65 о. е. Снижение кратности пускового момента в асинхронном двигателе для привода вентилятора до 0,65 о. е. позволит также снизить кратность пускового тока, что актуально для прямого пуска асинхронного двигателя.

С целью снижения кратности пускового тока целесообразно рассмотреть возможность проектирования асинхронного двигателя для

привода вентилятора при диаметрах расточки статора D_1 = 0,37; 0,38; 0,39 и 0,4 м.

Для определения значений и предела варьирования числа проводников в пазу статора $U_{п1}$ в работе предлагается использовать предельные значения электромагнитных нагрузок – линейной нагрузки A_{1max} и индукции в воздушном зазоре $B_{\delta max}$. На основании опыта проектирования асинхронных двигателей для привода вентиляторов и рекомендаций [2, 3] приняты: линейная нагрузка A_{1max} = $42 \cdot 10^3$ А/м, произведение линейной нагрузки на плотность тока AJ_{max} = $18{,}0 \cdot 10^{10}$ $А^2 \cdot м^3$, индукция в воздушном зазоре $B_{\delta max}$ = 0,9 Тл.

При выбранных значениях диаметра расточки статора и постоянных исходных данных минимальное число активных проводников обмотки в пазу статора $U_{пmin}$ определяется допустимой индукцией в воздушном зазоре $B_{\delta max}$, а максимальное $U_{пmax}$ – допустимой линейной нагрузкой A_{1max}. Минимальное и максимальное число активных проводников в пазу статора предварительно рассчитываются по формулам:

$$U_{пmin} \geq \frac{1}{B_{\delta max}} \cdot \frac{2p \cdot m_1 \cdot a_1 \cdot k_E \cdot U_{нф}}{4{,}44 \cdot f_1 \cdot k_{w1} \cdot Z_1 \cdot D_1 \cdot l_1}, \quad (1)$$

где $k_E = 0{,}97$, $k_{w1} = 0{,}91$ – обмоточный коэффициент;

$$U_{пmax} \leq A_{1max} \cdot \frac{m_1 \cdot a_1 \cdot \eta_{эн} \cdot U_{нф}}{P_н} \cdot \frac{\pi \cdot D_1}{Z_1}, \quad (2)$$

где $\eta_{эн} = \eta_д \cdot \cos\varphi_x$ – энергетический КПД двигателя аналога. Результаты расчётов по формулам (1), (2) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчётов

D_1, м	0,37	0,38	0,39	0,4
$U_{пmin}$	32	32	32	30
$U_{пmax}$	34	34	36	36

В зависимости от диаметра расточки статора табл.1 число активных проводников в пазу статора принимает значения $U_{п1} = U_{пmin} \ldots U_{пmax}$ с шагом 2 для двухслойной обмотки.

В асинхронных двигателях с открытыми пазами статора значительную часть потерь составляют добавочные потери – пульсационные и поверхностные. Уменьшение добавочных потерь возможно за счёт применения магнитных клиньев или уменьшения ширины паза статора. В данной работе рассматривается возможность снижения добавочных потерь за счёт уменьшения ширины открытого паза статора.

Чем меньше ширина прямоугольного провода $b_{м1}$, тем меньше ширина пазу статора. Минимальная ширина стандартного медного провода принята $b_{ммin}$ = 3,55 мм.

Для определения максимальной ширины провода $b_{ммax}$ в первом приближении рассчитывается сечение прямоугольного провода, $мм^2$,

$$q_{мх} = \frac{P_н \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_{нф} \cdot \eta_{эн} \cdot a_1} \cdot \frac{A_{1max}}{AJ_{max}} \cdot 10^6. \quad (3)$$

Для проектируемого двигателя $q_{ì\ ð}$ = 5,55 $мм^2$. Максимальная ширина провода $b_{ммax} = q_{мх} / a_{ммin} = 4{,}7$ мм.

С учётом размеров стандартных прямоугольных проводов принимаем $b_{ì\ 1}$=3,55; 4,5 и 4,75 мм.

Сечение провода, рассчитанное по формуле (3), позволяет в первом приближении определить толщину прямоугольного провода $a_{мх} = q_{мх} / b_{м1}$ и выбрать ближайшую стандартную толщину провода $a_{м1} \approx a_{мх}$.

Для изготовления стержней короткозамкнутой обмотки ротора используется листовая медь. Пределы варьирования толщиной стержня короткозамкнутой обмотки ротора приняты b_c = 5; 5,5; 6 и 6,5 мм, что соответствует стандартной толщине листовой меди.

Выводы

1. На основании предельных электромагнитных нагрузок предложен алгоритм определения значений и пределов варьирования отдельных независимых переменных.
2. Предложенный алгоритм позволит существенно ограничить область поиска оптимального варианта расчётов.

Список литературы

1. Баклин В.С., Пушкарёв И.И. Алгоритм оптимизационных расчётов высоковольтных асинхронных двигателей // Известия Томского политехнического университета. –2011. – Т. 318. – № 4. – С. 132–136.
2. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П. и др. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
3. Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ДАТЧИКОМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Кашин П.И.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: norlaway@yandex.ru

В разработке современных авиационных и других газотурбинных агрегатов имеется широкий круг задач, связанных с необходимостью обеспечения высокоточного позиционирования исполнительных механизмов.

Высокие требования по массогабаритным показателям, надежности и долговечности, предъявляемые к этим системам, определяют применение в них безредукторных приводов на базе линейных двигателей.

Для топливодозирующего агрегата системы автоматического управления газотурбинным авиационным агрегатом и разработан линейный электромагнитный преобразователь с датчиком линейных перемещений повышенной точности.

Цель данной работы состоит в получении выходных характеристик, удовлетворяющих высокоточным требованиям позиционирования исполнительных механизмов.

Преобразователь предназначен для линейного перемещения дозирующего элемента в диапазоне 0 – 4 мм с усилием, пропорциональным току управления, и выдачи с датчика сигнала о положении дозирующего элемента.

Преобразователь состоит из следующих основных сборочных единиц рис. 1: датчика *1* и преобразователя *2*.

Датчик *1* представляет собой цилиндр, в котором расположены магнитопровод *9* и катушка *8*. Преобразователь состоит из магнита *7* (из сплава ниодим – железо – бор), магнитопровода *5*, якоря *4*, на котором расположена обмотка *6* и в который ввинчены подвижная часть датчика *10* и шарнир *3*.

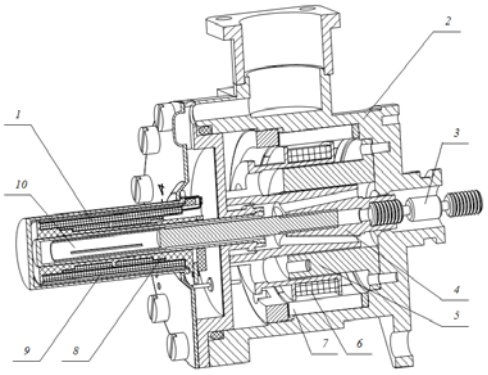


Рис.1. Общий вид линейного электромагнитного преобразователя.

В зазоре между корпусом и внутренним магнитопроводом размещены кольцевой магнит с радиальной полярностью намагничивания и катушка на подвижном якоре преобразователя.

Работа преобразователя основана на магнитоэлектрическом принципе. Постоянный ток, протекающий по подвижной обмотке, создает магнитный поток, взаимодействующий с потоком постоянного магнита. В результате возникает усилие на якорь, направленное в сторону фланца. При токе 2 А усилие составляет 1,5 кг, нелинейность силовой характеристики не более 2 %. Управляющие сигналы на подвижную катушку двигателя подаются через гермовыводы и гибкие многожильные провода во фторопластовой изоляции [1].

Преобразователь не имеет внутреннего градиента, направленного встречно магнитоэлектрическому усилию, необходимого для точного позиционирования положения якоря, и поэтому используется электронный регулятор, который путем переключений полярности с определенной частотой стабилизирует положение якоря.

Преобразователь сочленен с внешним линейным датчиком обратной связи дифференциального типа.

Датчик размещен вне преобразователя, так как при его нахождении внутри, как показали испытания, взаимное влияние магнитных потоков преобразователя и датчика обусловливает значительное увеличение погрешностей его выходных характеристик.

Вариант размещения датчика вне преобразователя резко уменьшил влияние магнитного потока силовой части и позволил обеспечить требуемые точностные характеристики (не более 0,5 %) устройства.

Датчик относится к дифференциально-трансформаторному типу, принцип действия его основан на изменении взаимных индуктивностей рабочих обмоток с обмоткой возбуждения при перемещении подвижной части. По обмотке возбуждения датчика протекает ток, который создает магнитный поток, наводящий в рабочих обмотках ЭДС. При нулевом положении подвижной части наводимые в обмотках ЭДС равны по значению, но противоположны по фазе [2].

При перемещении подвижной части из нулевого положения равновесие нарушается: выходное напряжение одной измерительной обмотки уменьшается, а другой – увеличивается. Разность ЭДС рабочих обмоток в инвариантном

виде Y и является выходной характеристикой датчика [3]:

$$Y = \left(\frac{U_{1вых} - U_{2вых}}{U_{1вых} + U_{2вых}} \right).$$

Здесь $U_{1вых}$, $U_{2вых}$ – выходные напряжения измерительных обмоток.

При этом номинальные значения Y для каждого значения перемещения определяются формулой $Y_{нi} = K_н L_i$,
где $K_н$ – крутизна выходной характеристики датчика; L_i – текущее перемещение.

Значение выходной характеристики увеличивается пропорционально перемещению подвижной части от нулевого положения рис. 2.

Достигнуты положительные результаты совмещения электромагнитного преобразователя с линейным дифференциально-трансформаторным датчиком положения, обеспечивающим измерение хода якоря с погрешностью во всех условиях эксплуатации не более 0,5 % [2]. Такая точность достигнута благодаря применению инвариантной схемы обработки выходных напряжений датчика [3].

В результате проведенных испытаний были получены следующие параметры и характеристики (рис.2, рис.3) датчика представленные в таблице:

Таблица. Выходные напряжения рабочих обмоток, крутизна и нелинейность выходной характеристики датчика преобразователя.

Перемещение, мм	Выходное напряжение I рабочей обмотки, В	Выходное напряжене II рабочей обмотки, В	Крутизна выходной характеристики, $мм^{-1}$	Нелинейность выходной характеристики, %
-4	1,565	1,006	-0,05419	0,149860
-3,5	1,55	1,056	-0,05419	-0,026739
-3	1,532	1,105	-0,05419	-0,151106
-2,5	1,512	1,153	-0,05419	-0,178856
-2	1,489	1,2	-0,05419	-0,210541
-1,5	1,464	1,245	-0,05419	-0,103595
-1	1,434	1,288	-0,05419	-0,128432
-0,5	1,402	1,329	-0,05419	-0,084601
0	1,368	1,368	-0,05419	0
0,5	1,333	1,406	-0,05419	-0,102609
1	1,292	1,437	-0,05419	-0,244685
1,5	1,249	1,467	-0,05419	-0,236576
2	1,203	1,494	-0,05419	-0,113029
2,5	1,157	1,519	-0,05419	-0,047998
3	1,108	1,538	-0,05419	-0,016631
3,5	1,065	1,566	-0,05419	0,171471
4	1,014	1,581	-0,05419	0,397117

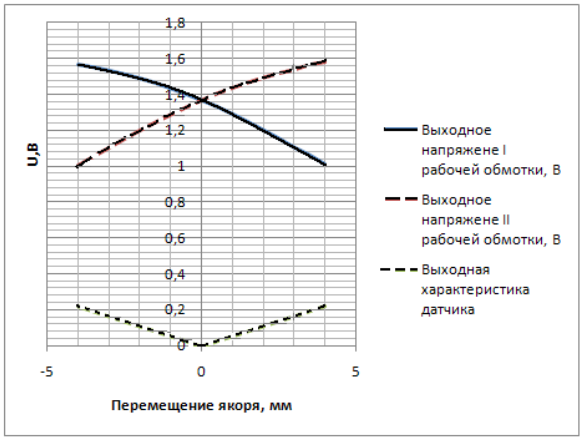


Рис. 2. Выходная характеристика датчика преобразователя и напряжения рабочих обмоток.

Рис. 3. Вид выходной характеристики датчика преобразователя и нелинейности выходной характеристики датчика.

В заключении отметим, что результаты испытаний и расчетов подтвердили правильность выбора конструкции преобразователя. Расположение датчика вне преобразователя уменьшило влияние электромагнитных полей, что позволило обеспечить требуемые точностные характеристики устройства. Полученная погрешность составила не более 0,5% во всех условиях эксплуатации.

Литература

1. Козлов Н.П., Крассов И.М.. Электромагнитные пропорциональные управляющие элементы. М.: Энергия, 1966.- с. 112 – 114.

2. Шидлович Л. Х. Дифференциальные трансформаторы и их применение. Л.: Энергия, 1966. - с. 211 – 218.

3. Снижение эксплуатационных погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения. /М.Г. Савченко, Г.М. Марьянов, В.И. Филиппов, О.А. Цыганов // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. трудов НПЦ "Полюс". Томск, 1997. - с. 191 – 194.

4. Веркович Г.А., Головенкин Е.Н.. Справочник конструктора точного приборостроения. Л.: Машиностроение, 1989.- с. 75 – 79.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПАЗОВОЙ ОБМОТКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Клабуков Р.П.
Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: KlabukovRP@gmail.com

Вентильный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов (ВДПМ) является на сегодня одним из самых перспективных исполнительных электродвигателей. Необходимость разработки быстродействующих ВДПМ обусловлено требованием специальных устройств автоматики.

Качество электропривода с ВДПМ определяется рядом параметров, к которым относят точность воспроизведения закона перемещения рабочего органа, устойчивость, быстродействие, энергопотребление, массогабаритные показатели и др. Для этого электрическая машина заданной мощности проектируется с максимально допустимой по механической устойчивости длиной ротора при минимальном его диаметре [1].

В системах точного электропривода помимо высокого быстродействия ВДПМ должны обеспечивать высокую плавность хода (минимальные пульсации момента на валу), особенно в зоне малых частот вращения, и широкий диапазон регулирования.

Целью данной работы является исследование беспазовой обмотки быстродействующего вентильного двигателя с постоянными магнитами.

Стоит отметить, что конструктивное исполнение статора оказывает значительное влияние на быстродействие ВДПМ. Вентильные электродвигатели в исполнении с беспазовым статором обладают следующими качествами:

- высокая технологичность пакета статора в связи с отсутствием зубцовой зоны;
- снижение пульсаций момента за счёт отсутствия пульсаций магнитного потока в зубцах, более высокая глубина регулирования и плавность хода;
- низкое значение индуктивного сопротивления обмотки в связи с отсутствием индуктивности от потоков пазового рассеяния, а также снижение электромагнитной постоянной времени $T_Э$;

Сравнительно большой уровень (до $0{,}1M_н$) остаточного электромагнитного момента реактивного происхождения имеют ВДПМ с пазовой обмоткой статора. Данный недостаток препятствует использованию их в высокоточных электроприводах. Зубцовая зона в сердечнике статора так же может служить причиной возникновения пульсации магнитной индукции на холостом ходу в массиве постоянных магнитов, что приводит к их недопустимому нагреву. Разбиение магнита по длине на отдельные участки служит средством борьбы с этим недостатком. Отсутствие зубцов статора может, сказаться на увеличении диаметра ротора, что приведёт при прочих равных условиях к увеличению электромагнитного момента, а так же увеличение номинального тока двигателя может быть достигнуто за счёт отсутствия повышенных магнитных потерь в зубцах. Очевидное снижение магнитной индукции в воздушном зазоре при этом типе обмотки статора может ухудшить использование двигателя [3]. В случае расположения обмотки в расточке беспазового статора ВДПМ немагнитный зазор увеличится. Для обеспечения необходимого магнитного потока в воздушном зазоре требуется увеличение объема магнитов, что приводит к увеличению момента инерции ротора и снижению динамических характеристик ВДПМ. Так же необходимо отметить, что при использовании беспазовой обмотки расположенной в воздушном зазоре в зоне максимальных индукций, необходимо разделение провода на элементарные проводники с целью снижения дополнительных потерь в меди от вихревых токов.

Анализ показывает, что ВДПМ с индукторами имеющими магнитомягкие полюса на роторе и с зубцовым статором обладают значительными пульсациями частоты вращения. Снижение пульсаций можно добиться, применив индукторы с дугообразными постоянными магнитами, которые обеспечивают трапецеидальный закон распределения индукции в рабочем зазоре и значительно меньшую модуляцию индуктивности фаз статора ВДПМ [4].

В поиске вариантов ВДПМ была использована математическая модель, представляющая собой ряд уравнений, связывающие исходные данные, независимые и зависимые параметры. Уравнения записаны на базе теории электрических, магнитных и тепловых сетей. Модель предназначена для оптимизационных расчётов ВДПМ различных конструктивных схем.

В соответствии с предложенной моделью электромагнитный момент ВДПМ

$$M_Э = apj\Phi Q_0,$$

где a – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивной схемы ВДПМ, числа фаз и схемы соединения обмоток якоря; p – число пар полюсов индуктора; Ф – магнитный поток в рабочем зазоре; Q_0 – площадь сечения якоря, занятая обмоткой; j – плотность тока в обмотке якоря;

Магнитный поток в рабочем зазоре ВД можно определить:

$$\Phi = \frac{B_r \frac{\pi\alpha_i}{2p} \lambda D_{\text{и.р}}^{*2} D_{\text{я.р}}^{*} (1 - F_{ad\text{Н}}^{*}) D_{\text{баз}}^2}{\mu_{\text{В}}^{*} k_{\mu} \delta_{\text{р}}^{*} / h_{\text{м.р}}^{*1} + k_{\sigma} \frac{\pi\alpha_i}{2p} D_{\text{я.р}}^{*} / b_{\text{м.р}}^{*}},$$

$$F_{ad\text{Н}}^{*} = \frac{\alpha k_0 k_{\text{з.м}} j Q_0}{4 p H_{\text{с}} m h_{\text{м.р}}^{*1} D_{\text{и.р}}^{*} D_{\text{баз}}},$$

где B_r – остаточная индукция магнита, Тл; H_c – коэрцитивная сила магнита, А/м; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м; $\mu_{\text{В}}^{*} = B_r / (\mu_0 H_{\text{с}})$ – относительное значение коэффициента возврата кривой размагничивания; k_0 – коэффициент обмотки; $k_{\text{з.м}}$ – коэффициент заполнения индуктора магнитом; $D_{\text{и}}$ – диаметр индуктора; k_{μ} – коэффициент магнитной цепи; $\lambda = l / D_{\text{и}}$ – конструктивный коэффициент; $D_{\text{я.р.}}^{*} = D_{\text{я.р.}} / D_{\text{баз}}$ – расчётное значение диаметра якоря; $\delta_{\text{р}}^{*} = \delta_{\text{р}} / D_{\text{баз}}$ – расчётное значение воздушного зазора; l – активная длина машины, м; α_i – расчетный коэффициент полюсного перекрытия; k_{σ} – коэффициент рассеяния индуктора; m – число фаз обмотки якоря; $b_{\text{м.р}}^{*1}$, $h_{\text{м.р}}^{*1}$ – расчетные значения ширины магнита и высоты магнита [5].

Для оценки зависимости момента инерции и объёма ротора от выбора магнитов с более высокими энергетическими показателями пазового и беспазового ВДПМ были проведены расчеты на базе вентильного двигателя ДВ-40 в беспазовом исполнении (рис. 1 и 2).

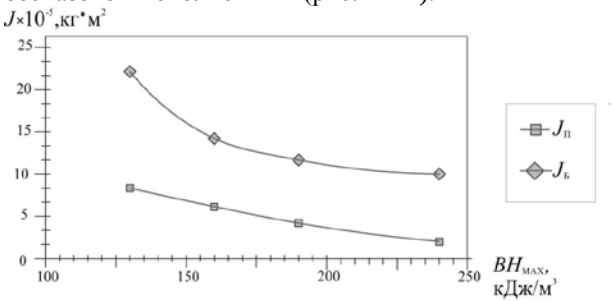


Рис. 1. Зависимость момента инерции пазовых и беспазовых ВДПМ от максимального энергетического произведения BH_{max}.

Анализ показывает, при использовании беспазовой обмотки в ВДПМ наблюдается динамика уменьшения момента инерции и электромеханической постоянной времени при увеличении максимального энергетического произведения BH_{max}. В беспазовых ВДПМ по отношению к пазовым двигателям момент инерции в среднем выше в 2-3 раза (рис. 1).

Вследствие использования беспазовой обмотки возможно увеличение немагнитного зазора ВДПМ, что требует увеличение объема ротора $V_{\text{рот}}$, примерно, в 1,5 раза по сравнению с использованием пазовой (рис. 2).

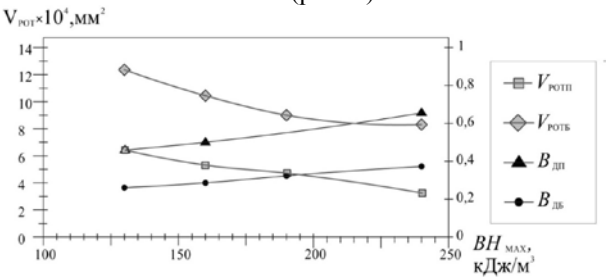


Рис. 2. Зависимость объёма ротора $V_{\text{рот}}$, и индукции в воздушном зазоре B_{δ} пазовых и беспазовых ВДПМ от максимального энергетического произведения BH_{max}.

ВЫВОДЫ

1. Выбор беспазовой обмотки при проектировании ВДПМ позволяет уменьшить пульсации момента на валу вследствие снижения влияние электромагнитного момента реактивного происхождения.

2. В процессе исследования магнитной системы можно сделать вывод, что для обеспечения необходимых динамических показателей и снижения момента инерции при использовании беспазовой обмотки необходимо уменьшение диаметр ротора с сохранением его объёма. Данное условие приведёт к уменьшению главных размеров статора ВДПМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коков Е.Г., Жибинов А.С., Гейнц Э.Р., Цехместрюк Г.С. Магнитное поле и ЭДС малоинерционных магнитоэлектрических машин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 4. – С. 158-162.

2. Волокитина Е.В., Исследование и разработка быстродействующего вентильного электропривода органов управления новых самолетов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Чебоксары, 2006. – 20 с.

3. Афанасьев А.А., Бабак А.Г., Волокитина Е.В., Головизнин С.Б., Нестерин В.А., Никифоров В.Е, Николаев А.В., Чихняев В.А. Малоинерционный высокоскоростной магнитоэлектрический беспазовый вентильный двигатель // Электричество. – 2007. – № 4. – С. 28–35.

4. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. – М.: Энергия, 1985. – 192 с.

5. Куликов Н.И., Елизарова Т.А., Куликова Т.В., Сухов Д.В., Хрупачев О.Ю. Исследование и разработка быстродействующих вентильных двигателей // Электричество. – 2002. – № 5. – С. 23–32.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ СТАТОРА

Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н.
Научный руководитель: Иванова А.Г., аспирант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kodermyatovra@mail.ru

При экспериментальных исследованиях электрических машин достаточно часто приходится определять такие их характеристики, как момент инерции вращения частей и моменты сопротивления вращению. К числу последних относятся моменты сухого и вязкого трения в опорах подвеса, моменты нагрузки, моменты, вызываемые конструктивным исполнением электрической машины. Указанные выше характеристики определяются, исходя из математического описания процессов движения подвижных элементов, связанных с ротором. В частности, момент инерции ротора можно определить качение эталонного груза [1], а моменты сопротивления по характеру затухания собственного колебательного движения [2].

Особенность исследований моментного двигателя с ленточной намоткой [3] является определение момента сопротивления, вызванного влиянием вихревых токов в материале намотки.

Общий вид макета исследуемого двигателя приведен на рисунке 1.

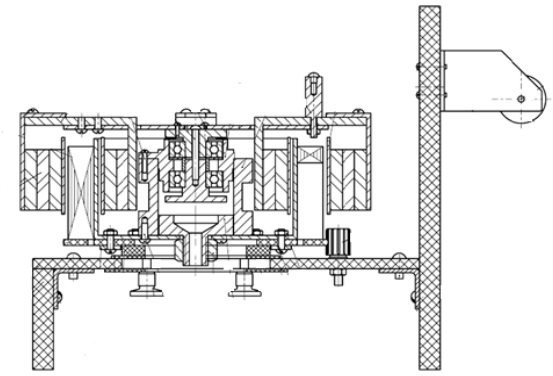


Рисунок 1 Макет моментного двигателя

Моментный двигатель содержит первичный элемент, выполненный в виде многополюсного магнита и магнитопровода. Магнит и магнитопровод соединены основанием из немагнитного материала и образуют единый узел – ротор двигателя. В зазор между полюсами магнита и магнитопроводом помещается вторичный элемент, который представляет собой спирально намотанную на каркас ленту из электропроводящего материала [3].

Методика определения моментной характеристики заключается в том, что на ленточную намотку подается постоянный ток, под действием которого создается момент двигателя, преодолевающий тарированный момент нагрузки. Данная методика описана в [4]. Результаты обработки полученных приведены на рисунке 2, который представляет собой экспериментально полученную характеристику изменению момента по углу поворота ротора при неизменном токе в 1А.

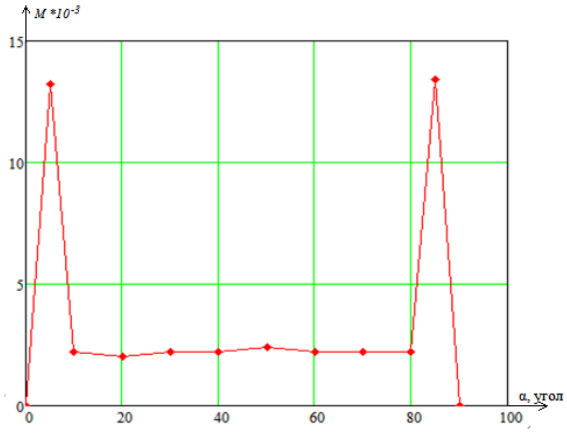


Рисунок 2 Моментная характеристика макета

Характер движения определялся по перемещению отметки луча лазерной указки, закрепленной на роторе макета. Перемещение светового пятна по шкале фиксировалось с помощью видеозаписи, покадровая расшифровка которой с периодом 0,04 с позволила построить графики движения ротора как при подключении к источнику питания, так и при собственных колебаниях ротора с присоединённой массой.

Вид установки показан на рисунке 3.

Рисунок 3 Вид экспериментальной установки

Методика определения момента инерции заключается в том, что на некотором расстоянии от

оси ротора закрепляется эталонный груз затем, задав ротор отклоняется от нейтрали на некоторый угол и в данный момент совершает колебательное движение.

Момент инерции маховика определяется по формуле [1]

$$J = m_э \cdot l_э \cdot \left(\frac{T^2 \cdot g}{4 \cdot \pi^2} - l_э\right) =$$
$$= 0{,}118 \cdot 0{,}12 \cdot \left(\frac{1{,}2^2 \cdot 9{,}81}{4 \cdot 3{,}14^2} - 0{,}12\right) =$$
$$= 3{,}37 \cdot 10^{-3} \text{кг·м}^2$$

где: J = 3,37·10^{-3} кг·м^2 момент инерции ротора;

T = 1,2 с - период колебаний системы, определяемый из графика на рисунке 4;

$m_э$ = 0,118 кг - эталонная масса;

$l_э$ = 0,12 м - расстояние от оси ротора до центра эталонной массы;

g = 9,81м/с^2 - ускорение свободного падения.

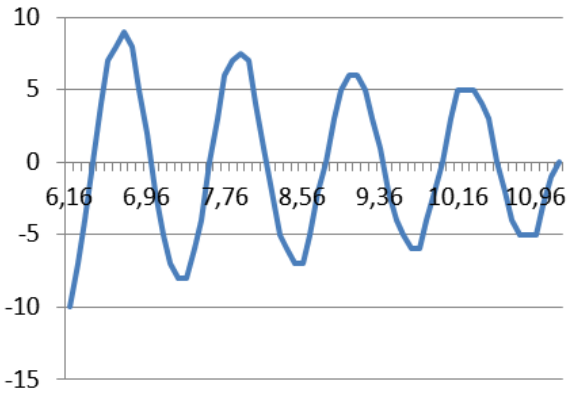


Рисунок 4 Колебания ротора с закрепленной массой

Графики на рисунке 5 отображают затухающие колебания ротора с присоединённой массой в случаях наличия (a) и отсутствия (b) в макете ленточной намотки.

Известно [1], что для затухающих свободных колебаний, определяемых уравнением

$J \cdot \alpha^2 + \mu \cdot \alpha^1 + c \cdot \alpha^0 = 0$, или

$$y^2 + 2 \cdot \beta \cdot y^1 + \omega_0^2 \cdot y^0 = 0,$$

где: $2\beta = \frac{\mu}{J}$, $\omega_0^2 = \frac{c}{J}$.

Декремент затухания (λ) определяется как

$\lambda = \beta \cdot T = \ln\frac{A_m}{A_{m+1}}$, $\beta = \frac{1}{T} \cdot \ln\frac{A_m}{A_{m+1}}$

где: A_m – амплитуда колебания.

Отсюда следует, что искомый параметр коэффициент скоростного трения (μ) определяется как

$$\mu = 2 \cdot J \cdot \beta = \frac{2 \cdot J}{T} \cdot \ln\frac{A_m}{A_{m+1}}.$$

Расчёты показывают, что коэффициент скоростного трения в случае отсутствия линейной намотки, определяется в основном трением в опорах подвеса, равен

$\mu_b = 0{,}215 \cdot 10^{-3}$ Н · м · с, а при её наличии $\mu_a = 1 \cdot 10^{-3}$ Н · м · с.

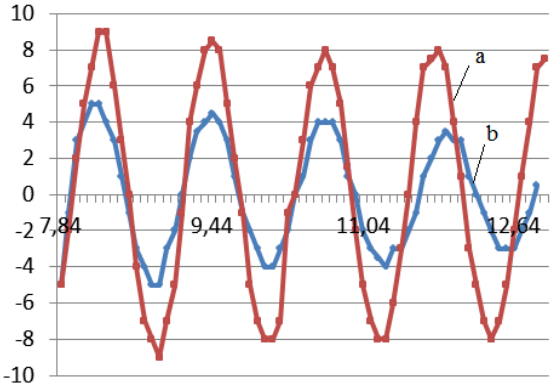


Рисунок 5 Колебания ротора с отсутствием намотки (a) и с её наличием (b)

Из экспериментально полученных данных можно сделать вывод, что влияние демпфирующего момента (вызванного действием вихревых токов в теле намотки) превышает более чем в четыре раза момент трения в опорах, что оказывает существенное влияние на работу двигателя. Полученные результаты дают возможность провести дальнейшие аналитические исследования с целью определения основных динамических характеристик двигателя.

Литература

1. Фаворин М.В. Моменты инерции тел. Справочник. / Под ред. М.М. Гернета – 2-е издание переработано и дополнено – М: Машиностроение, 1977. – 511 с., ил.

2. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М: Мир, 1982 – с.520. ил.

3. Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н. Макет моментного двигателя с ленточной намоткой // Космическое приборостроение: сборник научных трудов форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Изд-во ТПУ, 2013 - с. 196-197.

4 Екимова О.Ю., Иванова А.Г., Татарникова К.А. Экспериментальные исследования моментного двигателя с ленточной намоткой // Наука. Технологии. Инновации: Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 6-ти частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. Часть 2 – с. 104 – 106.

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СКОЛЬЗЯЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

Козырева О.И., Ильин А.В., Андрусич А.В.
Научный руководитель: Плохов И.В., д.т.н., профессор
Псковский государственный университет, 180004, Россия, г. Псков, ул. Ленина, 2
E-mail: ks_33n@mail.ru

В рамках работы над созданием обобщённой модели динамического токораспределения по параллельным щеткам узла скользящего токосъема тахогенератора (УСТ ТГ), с целью построения адекватной итоговой модели, разделим расчетную задачу на взаимосвязанные функциональные части. Данную статью посвятим определению параметров динамической модели независимого одиночного скользящего контакта (СК).

В связи с большим влиянием на токопередачу через СК кинематических возмущений со стороны контактного кольца (КК) необходим учет динамики контактного давления. Оно определяется двумя основными факторами: усилием нажатия на щётку F и кинематическим возмущением x(t), задающим колебательные радиальные перемещения поверхности КК под зеркалом щётки, являющиеся результатом тангенциального движения неровностей поверхности КК. Щётка, под действием возмущения, совершает многокоординатные движения [1]. В результате её взаимодействия с КК возникает модуляция контактного давления q, постоянная составляющая которого q_{const} равна удельной силе нажатия на щетку:

$$q_{const} = \frac{F}{S_щ}, \quad (1)$$

где F – усилие нажатия на щётку. Переменную составляющую контактного давления q_{var}, определяемую кинематическим возмущением x(t), представим в форме полигармонической функции:

$$q_{var} = \sum_{i=1}^{n} q_{mi} \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (2)$$

где $q_{mi}, \omega_i, \varphi_i$ – амплитуда, частота и фаза i-ой гармоники контактного давления.

Обычно щетки равномерно распределены по периметру КК (рис. 2).

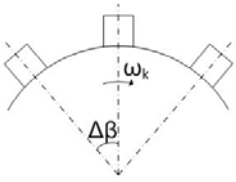


Рис. 1. Размещение щеток по КК.

При идентичности щеткодержателей и щеток можно утверждать, что функция, описывающая переменную составляющую контактного давления приблизительно одинакова для каждой щетки, но имеет соответствующий фазовый сдвиг, определяемый углом β_j смещения j-ой щетки относительно 1-й щетки УСТ.

$$\beta_j = j \cdot \Delta\beta; \; \Delta t_j = \frac{j\Delta\beta}{\omega_k},$$

где: ω_k – угловая частота вращения КК;
$\Delta\beta$ – угол между соседними щетками;
Δt_j – время перемещения отдельной неровности КК от 1-й щётки до j-ой щетки.

Тогда выражение (2) принимает вид:

$$q_{jvar}(t) = \sum_{i=1}^{n} q_{mi} \sin\left(\omega_i \left(\frac{j\Delta\beta}{\omega_k} + t\right) + \varphi_i\right),$$

Последнее выражение приведем к стандартному виду полигармонической функции.

$$q_{jvar}(t) = \sum_{i=1}^{n} q_{mi} \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{ji}),$$

$$\varphi_{ji} = \varphi_i + j \cdot \frac{\omega_i}{\omega_k}\Delta\beta,$$

где φ_{ji} – фазовый сдвиг i-ой гармоники переменной составляющей полигармонического колебания контактного давления j-ой щетки.

Будем задавать в модели контактное давление для j-ой щетки по следующей формуле:

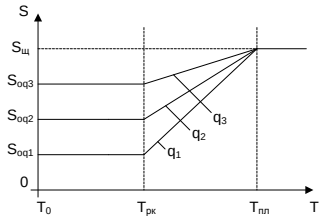
$$q_j = q + \sum_{i=1}^{n} q_{mi} \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{ji}),$$

где q определяем по выражению (1) через известную силу нажатия и площадь зеркала щетки.

От контактного давления зависит площадь токопередачи S (площадь переходного слоя (ПС):

$$S = f(T, q).$$

При увеличении q находящиеся в контакте микровыступы деформируются, и микрорельефы сближаются, то есть уменьшается величина контактного сближения. При этом в контакт вступают всё новые и новые микровыступы, что приводит к увеличению физической площади контакта. Эту зависимость традиционно определяют при некоторой постоянной температуре контактной пары. В нашем случае зададимся зависимостью $S = f(T, q)$ для ряда постоянных начальных температур T_{0qi}. Представим качественный вид зависимостей S(T) при различных постоянных q и зависимостей S(q) при различных постоянных T.



а)

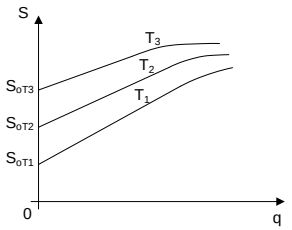


Рис. 2. Качественная зависимость S=f(T,q) в двух сечениях: по q_i – const (а) и T_j – const (б).

На рисунке: $S_щ$ – площадь зеркала щётки; $S_{0q1}…S_{0q3}$ – начальные физические (фактические) площади контакта при контактных давлениях $q_1…q_3$; $S_{0T1}…S_{0T3}$ – начальные площади при температурах контакта $T_1…T_3$ (три значения приняты для демонстрации изменения формы графиков); T_0 – начальная температура контактного перехода; $T_{рк}$, $T_{пл}$ – температуры рекристаллизации и плавления наиболее легкоплавкого материала контактной пары.

Зависимость фактической площадки касания A_r от механических свойств материалов, геометрических характеристик поверхностей и усилия нажатия рассмотрена в монографии [2]. Приведем ее исходный вид (с обозначениями автора).

$$A_r = 1{,}65 \cdot \frac{A_c^{1/3} \cdot \gamma_1^{1/3} \cdot \gamma_2^{1/3} \cdot (E_1+E_2)^{2/3} \cdot [2r \cdot (1-\mu^2)]^{2/3}}{(E_1 \cdot E_2)^{2/3}} \cdot N^{2/3},$$

где: A_c – контурная площадь касания, мм^2;
γ_1, γ_2 – удельный вес, Г/см^3;
E_1 ,E_2 – модули упругости, кГ/мм^2;
N – нагрузка, кГ;
r – радиус пятна касания, мм;
μ – коэффициент Пуассона материала.

Перепишем формулу с применением наших обозначений, упростим и введем коэффициенты преобразования к системе СИ.

$$F = N;\ A_r = S;\ A_c = S_c;\ \gamma_1 = \rho_щ;\ \gamma_2 = \rho_k.$$

Тогда:

$$S = 1{,}65 \sqrt[3]{2rS_c\rho_щ\rho_k \left[F\left(\frac{1}{E_1}+\frac{1}{E_2}\right)(1-\mu^2)\right]^2}, \quad (3)$$

Перевод единиц измерения представим таблицей.

Величина	Исходная единица изм.	СИ	Множитель перевода из СИ
S	мм^2	м^2	10^{-6}
r	мм	м	10^{-3}
γ	Г/см^3	кг/м^3	9807
F	кГ	Н	9,807
E	кГ/мм^2	Па=Н/м^2	$9{,}807 \cdot 10^6$
μ	Относит.	Относит.	1

Формула (3) дает значения S при комнатной температуре T_0=20 °C. Это и есть начальные значения $S=S_{0qi}$ при различных значениях $F=q \cdot S_щ$.

Таким образом, при помощи (3) мы задаем начальную площадь S для нелинейности (рис. 2а). Подставив $S_c = \pi r^2$ в формулу (3), получим:

$$S = 1{,}65r \sqrt[3]{2\pi\rho_щ\rho_k \left[F\left(\frac{1}{E_1}+\frac{1}{E_2}\right)(1-\mu^2)\right]^2},$$

где $r = \sqrt{\frac{S_c}{\pi}}$ – радиус пятна приведенной контурной площадки.

Размер контурной площадки контакта S_c определяется волнистостью и конструктивными особенностями КК. При использовании КК с нарезкой, а также с учетом волнистости:

$$S_c = (0{,}5 \div 0{,}8)S_щ.$$

Далее рассмотрим вопрос учета переходной электрической емкости в динамической модели одиночного СК. Заметим, что переходная емкость оказывает существенное влияние на работу СК, работающих параллельно. На динамику токопередачи СК, работающего независимо, влияние переходной емкости незначительно. Переходная емкость создается близлежащими контактными поверхностями, не участвующими в процессе токопередачи. Площадь обкладки образующегося конденсатора:

$$S' = S_щ - S,$$

поэтому, при нарушении контакта S = 0, а S’ = $S_щ$. При плотном контакте, имеющем место при T = $T_{пл}$ и значительных F: S = $S_щ$, а S’ = 0.

Переходную емкость опишем, как

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S_щ - S}{R_{zk}+R_{zщ}},$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; $\varepsilon \approx 50$ – относительная диэлектрическая проницаемость среды в контактном переходе; R_{zk}, $R_{zщ}$ – параметры шероховатости контактных поверхностей КК и щётки.

Полное сопротивление $Z(p)$ цепи отдельной щетки в операторной форме определим, как параллельное соединение переходного активного сопротивления R и переходной емкости C.

$$Z(p) = \frac{1}{R} + pC,$$

Переходное активное сопротивление определяется с учетом сопротивлений стягивания [3] и зависит от S – площади токопередачи и от ρ_k, $\rho_щ$ – удельных сопротивлений материалов области ПС $R = \frac{\pi(\rho_k+\rho_щ)}{2S}$. В результате получим:

$$Z(p) = \frac{1}{R} + pC = \frac{2S}{\pi(\rho_k+\rho_щ)} + p\varepsilon\varepsilon_0 \cdot \frac{S_щ - S}{R_{zk}+R_{zщ}}. \quad (4)$$

Таким образом, формулой (4) описывается задание полного переходного сопротивления одной щетки для обобщённой модели динамического токораспределения по параллельным щеткам УСТ ТГ.

Список литературы:

1. Плохов И.В. Комплексная диагностика и прогнозирование технического состояния узлов скользящего токосъема турбогенераторов: диссертация доктора технических наук: Санкт-Петербург, СПбГПУ, 2001.
2. Плохов И.В. Модель динамики токопередачи через скользящий контакт//Электротехника. 2005. № 2. С. 28-33.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, с. 75.
4. Хольм Р. Электрические контакты. Пер. с англ. Под ред. Брускина Д.Э. М.:1961.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОДНОКРАТНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ КОНСТРУКЦИЮ ПРИ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЯХ

Кондратенко О.О.
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н.
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: olg-kond@yandex.ru

Аварии и катастрофы на опасных производственных объектах сопряжены со значительными стратегическими рисками обществу, экологии природной среды и инженерным инфраструктурам жизнеобеспечения. Прямые и косвенные ущербы от тяжелых аварий и катастроф на стратегически важных объектах могут достигать десятков и сотен миллиардов рублей.

К стратегически важным зданиям и сооружениям в нашей стране можно отнести крупнейшие производственные корпуса площадью более 2×104 м2 и крановым оборудованием грузоподъемностью более 5×102 тонн в судостроительном, авиационном, ракетно-космическом комплексах, шельфовые установки для добычи нефти и газа, изотермические ёмкости для сжиженного природного газа, уникальные телерадиотрансляционные башни высотой более 5×102 м, железнодорожные и автомобильные мосты и тоннели длиной более 3×103 м на стратегических магистралях, крытые помещения различного назначения с большими массами посетителей (более 2×104 человек), мощные коридоры газо-нефтепроводов, морские магистральные трубопроводы, гидротехнические сооружения [1].

Применительно к проектированию, созданию и эксплуатации стратегически важных зданий и сооружений, наряду с общепринятыми нормами и правилами анализа прочности и надёжности (СНиП, ГОСТ, ТР, ОСТ, СТО, СТУ) должны быть применены принципиально новые методы количественного расчетно-экспериментального обоснования живучести, безопасности, рисков и защищенности от тяжелых аварий и катастроф.

Целью настоящей статьи является разработка технического решения, позволяющего осуществлять испытания строительных конструкций при воспроизводимой форме программируемого импульса (табл.1). Такой подход позволяет получать точные и воспроизводимые результаты напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, обеспечить повышенные прочностные характеристики материала [2] при прежней материалоемкости конструкции с обеспечением свойства живучести, обеспечить безопасность работ при проведении испытания.

Применение копровой установки (рис.2) для имитации импульса разрушения строительной конструкции при динамических, ударных испытаниях позволяет сформировать импульс квазисинусоидальной формы с длительностью не более 0,001...0,03 с (рис.3), однако форма и длительность импульса зависят от изменяющейся податливости испытуемой строительной конструкции в процессе разрушения, что не позволяет корректно имитировать форму импульса [3] разрушения при сопоставлении с результатами имитационного моделирования строительной конструкции (рис.1, рис.2).

С целью формирования импульса однократного динамического нагружения (рис.4) с программируемой формой и длительностью силового импульсного воздействия по первой группе предельных состояний или с программируемой формой прогиба конструкции по второй группе предельных состояний предлагается техническое решение на основе электромеханической установки [4].

Электромеханическая установка (рис.1) содержит смонтированные на силовом полу 1 нагружающее устройство и опоры 2 для испытуемой строительной конструкции 3. Нагружающее устройство выполнено в виде регулируемого электропривода 4, установленного на силовом полу 1 или на дополнительно закрепленной на силовом полу 1 станине установки 5, и кривошипно-шатунного механизма, кривошип 6 которого одним концом жестко закреплен на валу электропривода 4, а вторым через шатун 7 связан с поршнем 8, установленным в сквозном корпусе 9, неподвижно закрепленном на силовом полу 1 или на станине 5 с возможностью воздействия на испытываемую строительную конструкцию 3, установленную на опорах 2 шарнирно, конец поршня 8, обращенный к испытуемой конструкции 3, имеет сферическую форму. Это позволяет сосредоточить приложенную нагрузку.

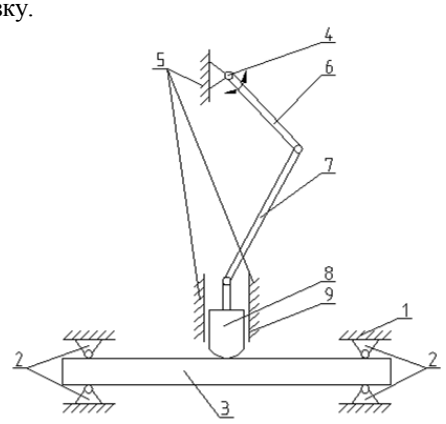


Рис. 1. Электромеханическая установка для статических и динамических испытаний строительных конструкций

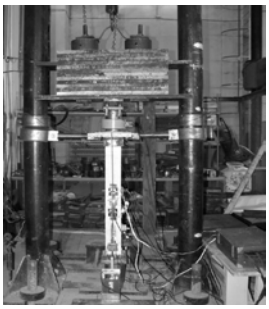


Рис. 2. Копровая установка со стендом, подготовленным для динамического испытания железобетонного элемента работающего на сжатие, масса испытательного груза 0,385 Т.

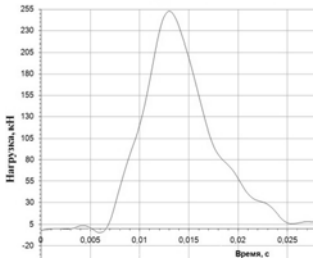


Рис. 3. Ударное разрушающее воздействие копровой установки на железобетонный элемент, работающий на сжатие, F, кН

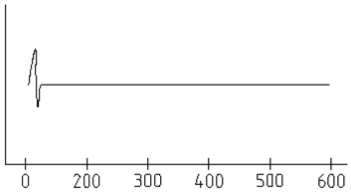


Рис. 4. Идеализированный сейсмический импульс

Воздействие	**Длительность импульсного воздействия,с**
Истребитель-бомбардировщик	0,07
Боинг	0,3
Удар автомобиля ГАЗ-24 «Волга»	0,015 при скорости 80км/ч
Детонационный взрыв	0,085
Дефлограционный взрыв	0,1
Сейсмический импульс	0.05…0,1

Таблица 1. Значения импульсного воздействия

ВЫВОДЫ

1. Показано, что импульс разрушения, возникающий в результате удара физического тела, сейсмического или взрывного воздействия на строительную конструкцию, здание или сооружение имеет сложный характер с длительностью импульса в интервале 0,02...0,3 с.
2. Применение копровой установки для имитации импульса разрушения строительной конструкции при динамических, ударных испытаниях позволяет сформировать импульс квазисинусоидальной формы с длительностью не более 0,001...0,03 с, однако форма и длительность импульса зависят от изменяющейся податливости испытуемой строительной конструкции в процессе разрушения, что не позволяет правильно имитировать форму импульса разрушения при сопоставлении с результатами имитационного моделирования строительной конструкции.
3. Предложено техническое решение на основе электромеханической установки для формирования испытательного импульса однократного динамического нагружения с программируемой формой и длительностью силового импульсного воздействия по первой группе предельных состояний или с программируемой формой прогиба конструкции по второй группе предельных состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения: учебное пособие / А.Н. Бирбраер, А.Ю. Роледер; Санкт-Петербургский политехнический университет. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
2. Корчинский И.Л. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях: учебное пособие / И.Л. Корчинский, Г.В. Беченева; – Москва: Стройиздат, 1966. – 211 с.
3. Хаттон Л. Обработка сейсмических данных: справочное пособие / Л. Хаттон, М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин; – Москва: Мир, 1989. – 216 с.
4. Патент РФ на ПМ №137119, G01N 3/08. Электромеханическая установка для статических и динамических испытаний строительных конструкций/ Г.И.Однокопылов, А.Д.Брагин, О.О.Кондратенко. - №2013141670/28; Заявл.10.09.2013; Опубл. 27.01.2014 Бюл.№3.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ СОХРАНЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ МАШИНЫ

Кортенко А. В., Усачева Т.В.
Научный руководитель: Усачева Т.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет , 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ant-kort@yandex.ru

Проблема энергосбережения на сегодняшний день актуальна не только в России, но и в мире в целом. В мировой практике электромашиностроения сложилось направление решения проблемы энергосбережения за счет проектирования энергоэффективных асинхронных двигателей [1]. У нас в стране эта проблема особенно актуальна для экономики, поскольку по общемировым показателям энергоемкость нашего промышленного производства выше. Данная проблема все больше обостряется в связи с увеличением стоимости энергоносителей. Из-за этого конкурентоспособность российской продукции в большей степени зависит именно от экономного расходования электроэнергии. На данный момент проектирование энергоэффективных электрических машин в России является первоочередной задачей энергосбережения страны в целом [2]. Таким образом, энергоэффективные асинхронные двигатели (АД) – это электродвигатели, которые совершают больше работы на единицу энергии, чем базовые аналоги, так как они имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД), а также обладают повышенной надежностью и имеют более низкие показателями по уровню шума и вибрации.

Цель работы: на основе математической модели с сохраненной поперечной геометрии машины провести моделирование энергоэффективных асинхронных двигателей средней мощности при изменении длины сердечников статора и ротора изменении обмоточных данных машины, с учетом параметров надежности.

Этот путь моделирования энергоэффективных АД наиболее экономически целесообразен. Он не требуют инвестиций на переоборудование производства. Данный способ проектирования вызывают дополнительный расход активных материалов при изготовлении АД, и при этом увеличивается стоимость машины, но возрастание стоимости АД компенсируется за счет меньших затрат на период эксплуатации, повышенной надежности [3].

Расчеты производились на основе математической модели с сохраненной поперечной геометрии машины. Исходными параметрами модели являются - поперечная геометрия базовых машин: внешний и внутренний диаметры статора и пазовые зоны. Ограничивающим факторам расчета стали среднее превышение температуры обмотки статора и показатели качества: $М_м^*$ – (2.59, о.е.) – кратность максимального вращающего момента, $I_п^*$ –(6.2,о.е.) – кратность пускового тока, $М_п^*$ – (1.43,о.е.)– кратность пускового вращающего момента. В скобках приведены допустимые значения показателей качества, которые удовлетворяют требованию ГОСТа [4].

В качестве выходных параметров математической модели приняты: КПД – η, коэффициент мощности – cosφ, единичный показатель надежности. В качестве единичного показателя надежности принято увеличение срока службы изоляции $Т_{сл}/Т_0$ и уровня магнитного шума, и вибрации. Математическая модель реализована в программной среде MathCAD.

С помощью программы были промоделированы базовые асинхронные двигатели серии АИР с различной высотой оси вращения 112, 132, 160.

Для наглядности в таблице 1 представлены результаты электромагнитного, теплового расчет, для двигателя серии АИР160S4 мощностью P2=15, кВт. Столбцы сформированы для АД при базовом значении длины $l_δ$ и при ее увеличении, с одновременным уменьшением числа витков w_1.

Таблица 1.
Результаты электромагнитного, теплового расчета для двигателя серии АИР160S4

Параметры	Ед.	$l_δ$			
		0.14	0.15	0.16	0.17
$l_δ$	%	100	107	114	121
w_1	-	104	96	88	88
w_1	%	100	92	84	84
I_1	А	28.69	28.3	28.06	28.25
I_2	А	26.4	25.81	25.26	25.56
$B_δ$	Тл	0.749	0.748	0.745	0.743
$d_{эл}$	мм	1.32	1.32	1.32	1.4
$K_{зап}$	-	0.715	0.7	0.66	0.71
$r`_1$	-	0.043	0.043	0.043	0.033
$r`_2$	-	0.021	0.02	0.019	0.02
$P_{э1}$	кВт	0.809	0.743	0.684	0.634
$P_{э2}$	кВт	0.336	0.287	0.242	0.259
$P_{ст}$	кВт	0.362	0.384	0.415	0.426
$Θ_т$	^{0}C	85.853	84.932	84.193	83.35
$η$	-	0.898	0.903	0.906	0.908
$cosφ$	-	0.892	0.891	0.886	0.889
$М_П^*$	о.е.	1.2	1.244	1.21	1.41
$М_М^*$	о.е.	2.54	2.8	2.59	2.7
$I_П^*$	о.е.	6.51	6.5	7.44	7.09

На основе данных, полученных при помощи математической модели, выразим зависимости, показывающие взаимосвязь между КПД и мощностью проектируемого АД, представленные на ри-

сунке 1 и изменение потерь АД при увеличении длины сердечника – на рисунке 2.

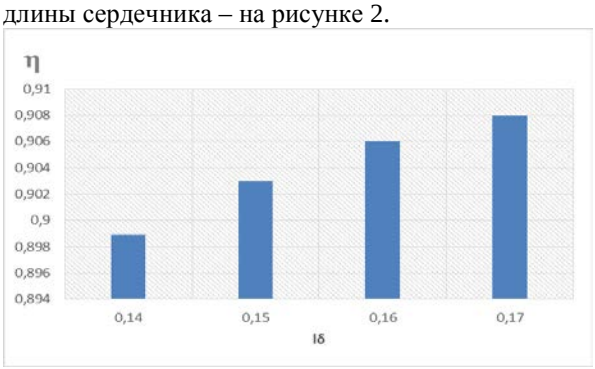


Рис. 1. Значения КПД при увеличении длины сердечника АД

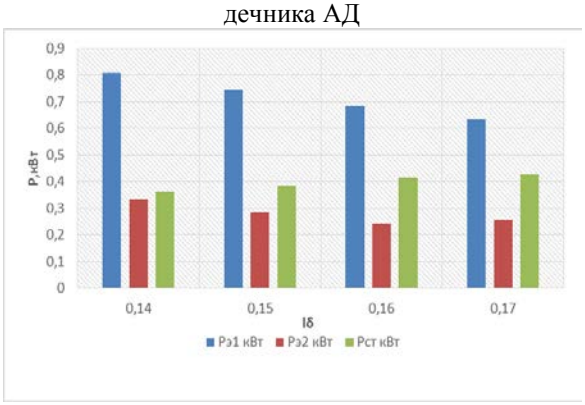


Рис. 2. Изменение потерь АД при увеличении длины сердечника

Анализируя таблицу 1 при длине l_δ - 121% и числа витков w_1 = 84% наблюдается наиболее высокий КПД из четырех исследуемых вариантов. Но этому варианту соответствуют высокие потери и чрезмерная длина вала. Это может привести к усложнению технологии производства и увлечению расхода материала. Поэтому оптимальным принят вариант при длине l_δ - 114% и числа витков w_1 = 84%. КПД при таком варианте достигает требуемого ГОСТом значения [4]. Число витков в обмотке фазы статора при данном варианте также на соответствующем уровне.

По данным таблицы 1 произведем расчет и дадим оценку изменения надежности смоделированного энергоэффективного АД. В таблице 2 представлены результаты по увеличению срока службы изоляции энергоэффективных АД при сохранении поперечной геометрии.

Таблица 2.

Результаты по увеличению срока службы изоляции

P_2, кВт	l_δ, м	$\Delta\Theta_i$, ^{0}C	$T_{сл}/T_0$, о.е.	$T_{сл}$, часы
15	0.15	0.93	1,735	3470
	0.16	1.66	1,757	3514
	0.17	2.503	1,768	3535

На рисунке 3 представлены наглядно результаты расчета параметра надежности в виде гистограмм.

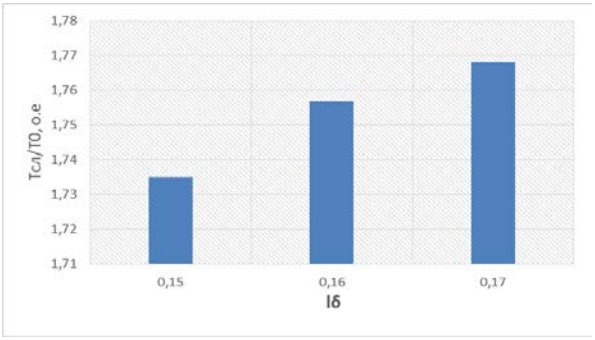


Рис. 3. Изменение срока службы изоляции

На рисунке 4 представлены результаты коэффициента, учитывающего уровня электромагнитного шума и вибрации.

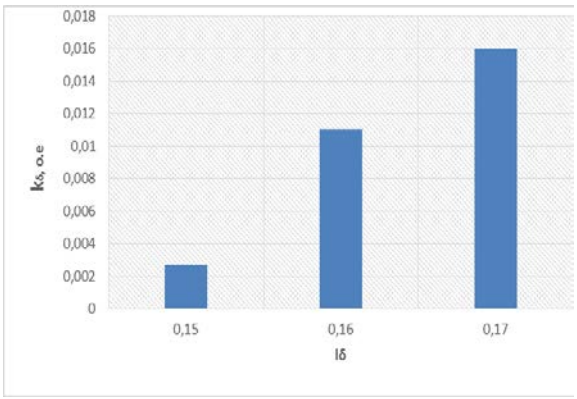


Рис. 4. Изменение уровня электромагнитного шума и вибрации

В результате расчета энергоэффективных АД, смоделированных на основе базовых машин серии АИР при сохраненной поперечной геометрии и при изменении длин сердечников и обмоточных данных, позволяет снизить уровень возмущающих сил электромагнитного шума и вибрации.

Подводя итоги, следует отметить, что смоделированные энергоэффективные АД обладают не только лучшими показателями энергоэффективности, но и повышенной надежностью, а также сроком службы, что позволит повысить их конкурентоспособность.

Список литературы

1. Безрученко В.А. Энергосберегающий электропривод // Электро. – 2001. – № 1. – С. 43-46.
2.Энергетическая стратегия России // ТЭК. – 2003. – № 2. – С. 5–37.
3. Тютева П.В. Оценка надежности при проектировании энергоэффективных асинхронных двигателей. ‘Современная техника и технологии’ – Томск: издательство ТПУ, 2010 г.
4. ГОСТ Р 52776-2007 Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кунулеков Д.С.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: dauletk13@mail.ru

Повышение эксплуатационной надежности силовых трансформаторов (СТ) приобретает все большую актуальность в связи со старением парка трансформаторов и выработкой определенного стандартами минимального (25лет) срока их службы.

Поэтому актуальной задаче повышения надежности и качества работы электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов.

Применение системы планово-предупредительного ремонта (ППР) обусловлено усложнением электрооборудования. Усложняется электрооборудование – повышаются требования производителя к эксплуатации, что приводит к дополнительной нагрузке на ремонтный персонал. Характерной особенностью системы ППР является формальный учет времени работы электрооборудования, которая берется за основу при формировании ремонтных циклов, приводящая к появлению обманчивого представления относительно истинного состояния по износу электрооборудования в период эксплуатации. Анализ технического состояния электрооборудования в период эксплуатации производиться с акцентом на благополучие механической составляющей, являющихся одной из составляющих силовых трансформаторов. В современных реалиях эксплуатации работоспособность силовых трансформаторов поддерживается только с помощью ППР, данная система не учитывает реальных условий эксплуатации, не увязаны ремонтные циклы с показателями надежности, имея сравнительно высокую трудоемкость технического обслуживания. Одни группы узлов, деталей и сборочных единиц силового трансформатора выходят из строя до наступления плановых сроков ремонта, другие оказавшиеся в более выгодных условиях и полностью работоспособные, направляется на ремонт преждевременно, в соответствии с ППР. Что приводит к дополнительным затратам.

Решение обозначенной проблемы является актуальной и представляет научный и практический интерес [1].

Расчет долговечности

Исследования статических данных эксплуатации силовых трансформаторов выявляют значительный износ и уменьшение остаточного ресурса. Для анализа воспользуемся статистическими данные, собранные более чем за 40-летний срок эксплуатации по предприятия ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «Алюминий Казахстана», г. Павлодара. Проанализируем однородность исходного статистического материала для объединения всего объема данных в одну генеральную совокупность для проведения дальнейших исследований, значений показателей надежности с доверительной вероятностью 0,95. Для описания статистических данных воспользуемся законами: равномерный закон распределения и распределения Вейбулла[2].

На рис. 1 представлена гистограмма, аппроксимирующая плотность вероятности (1) распределения на отказ почти 90 силовых трансформаторов мощностью до 125000 кВА чей срок службы превышает 40 лет, по статистическим данным ТЭЦ АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА».

Постоянные параметры α и β носят названия: α - параметр формы и β - параметр масштаба. В экспоненциальном распределении постоянная одна - λ, в распределении Вейбулла их две, т.е. это распределение более сложное.

$$\begin{gathered} f_I(t) = 0.069 \cdot t^{-0.002} \cdot e^{-0.1598 \cdot t^{0.998}}, \\ 0 \le t < 12, \text{ лет} \\ f_{II}(t) = 0.0099, \quad 12 \le t < 23, \text{ лет} \quad (1) \\ f_{III}(t) = 0.165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{-5.5485} \cdot e^{-0.025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6.5485}}, \\ 0 \le t < 12, \text{ лет} \end{gathered}$$

Получено, что для трех интервалов ресурсов (I – приработочный, II – нормальной эксплуатации, III – деградационный) наработки на отказ трансформаторов описывается распределением Вейбулла с параметрами $\alpha_1 = 0{,}1598$ и $\delta_1 = 0{,}998$ на интервале от 0…12 лет, на интервале 23…40 лет – также распределением Вейбулла, с параметрами $\alpha_3 = 0{,}025 \cdot 10^{-9}$ $\delta_3 = 6{,}5485$, а на промежуточном интервале 12…23 – равномерным законом распределения с коэффициентом $\alpha_2 = 0{,}0099$.

Проверка гипотезы об аппроксимирующих законах распределения по критерию χ^2 - Пирсона показала, что эмпирические и теоретические частоты отличаются незначительно и с доверительной вероятностью не ниже 0,95 по критерию согласия χ^2 – Пирсона, наработка на отказ анализируемого массива трансформаторов описывается двумя законами распределения по выражениям с плотностью вероятностей (1), представляя собой многостадийную модель накопления повреждений.

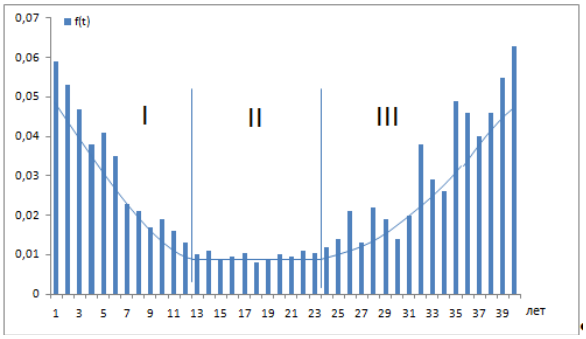


Рис. 1 - Гистограмма и плотность вероятности распределения на отказ силовых трансформаторов до 125000 кВА.

Среднее время безотказной работы СТ определено как математическое ожидание:

$$T = \int_{T=0}^{T_1=12} t \cdot 0.0692 \cdot t^{-0.002} \cdot e^{-(0.01598 \cdot t^{0.998})} dt + \int_{T_1=12}^{T_2=23} t \cdot 0.0099 dt + \int_{T=0}^{T_1=12} t \cdot 0.0165 \cdot 10^{-8} \cdot t^{6.5485} \cdot e^{-(0.025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6.5485})} dt = 21.34 \text{ года}$$

Расчет показателей надежности трансформаторов типа ТДТН-80000/110

Определим вероятность безотказной работы и среднюю наработку на отказ трансформаторов типа ТДТН-80000/110 времени $t_i = 4000, 10000, 18000$ *ч*, если интенсивность отказов $\lambda = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ *ч*$^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный.

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$$P(t) = e^{-\lambda t};\ f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda};\ \lambda = const$$

Отсюда

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{2.4} = 4166 \text{ ч};$$

$$P(4000) = exp\left[-\frac{4000}{4166}\right] = e^{-0.96} = 0.625$$

$$P(10000) = exp\left[-\frac{10000}{4166}\right] = e^{-2.4} = 0.427$$

$$P(18000) = exp\left[-\frac{18000}{4166}\right] = e^{-4.32} = 0.284$$

В результате полученных расчетных данных строим график зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$ трансформаторов типа ТДТН-80000/110, изображенный на рис. 2.

Определяем вероятность отказа:

$Q_{4000} = 1 - P_{4000} = 0.375;$
$Q_{10000} = 1 - P_{10000} = 0.573;$
$Q_{18000} = 1 - P_{18000} = 0.716$

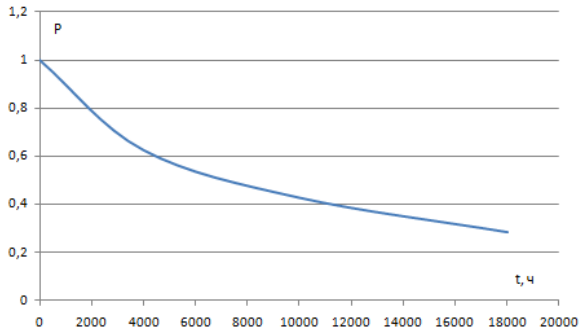


Рис. 2 – Вероятность безотказной работы трансформаторов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся на III деградационном интервале), вероятность безотказной работы будет снижается согласно кривой рис.2.

Заключение:

При анализе силовых трансформаторов до 125000 кВА на вероятностную характеристику интенсивности отказов можно дать рекомендацию по ограничению эксплуатации трансформаторов сроком, когда на интервале деградации интенсивность отказов не будет превышать интенсивности отказов периода приработки. Тогда максимальный срок эксплуатации трансформаторов будет ограничен 30,97 годами, с целью повышения надежности работы и обновления эксплуатируемого парка трансформаторов. Среднее же время безотказной работы трансформаторов равно 21,34 года.

В результате полученных расчетных данных построили график зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$ трансформаторов типа ТДТН-80000/110 за двухлетний период, находящиеся в работе более 25 лет. Сделан вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов вероятность безотказной работы будет снижается согласно кривой рис.2

Полученные результаты будут использованы при проектировании, изготовлении и эксплуатации трансформаторов, а также для принятия решения при работе с оборудованием, исчерпавшим свой нормативный ресурс.

Список литературы

1. Ведяшкин М. В. Моделирование эксплуатационной надежности крановых асинхронных двигателей: Автореф. дис. канд. тех. наук.- Красноярск, 2012.- 19 с.
2. Сулейманова Л. М. Повышение эксплуатационных ресурсов силовых трансформаторов при обеспечении электромагнитной совместимости по перенапряжениям: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Самара, 2006. – 23 с.

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кунулеков Д.С.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: dauletk13@mail.ru

Силовые трансформаторы являются в электрических сетях и системах основными элементами, определяющими надежность и экономичность их функционирования. Аварийные отключения или отказы в работе приводят к значительным убыткам.

Стоимость одного силового трансформатора в среднем достигает 250 тыс. - 1,5 млн. долл. США, а с демонтажем поврежденного трансформатора, транспортными расходами, с работами по восстановлению и монтажом нового – достигает 2,5 млн.

На данный момент в Казахстане (как в прочем и в России) отработали свой нормативный срок службы в 25 лет (ГОСТ 11677-85) большая часть силовых трансформаторов. В связи с этим все большее значение приобретает проблема оценки возможности дальнейшей эксплуатации вырабатывающий свой нормативный ресурс оборудования и продления срока службы[1].

Обеспечение надёжной, бесперебойной работы силовых трансформаторов необходимо, в первую очередь, для предотвращения аварийных последствий, таких как, пожары из-за внутренних повреждений трансформатора или выбросы масла[2].

Во избежание таких повреждений силовых трансформаторов необходимо усиление прочности бака, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, соответствующее устройство мембран, быстродействующие защитные системы. Вопросы транспортабельности требуют тщательной проработки при подготовке к транспортировке и проектировании, так как силовые трансформаторы необходимо перевозить в собранном виде, и транспортные габариты ограничены. Дабы не допустить появления дефектов, которые впоследствии могут привести к аварии.

На работу трансформатора влияют как анормальные режимы работы энергосистемы, так и сильные внешние воздействия. Перечислим основные воздействия и их последствия.

Коммутационные и грозовые перенапряжения, приводящие к повреждениям главной и витковой изоляции при недостаточных запасах их электрической прочности.

Повышения рабочего напряжения вызывающие перевозбуждение трансформаторов. Перевозбуждение магнитной системы приводит к повышенному нагреву не только сердечника, так и конструкционных стальных деталей, что опасно для изоляции соприкасающаяся с ними.

Токи Короткого Замыкания воздействующие ударными механическими воздействиями на обмотки. Опасное влияние со стороны сети является воздействие на трансформаторы токов коротких замыканий, вызывающих повреждения и деформацию обмоток при их динамической нестойкости.

При включении токи намагничивания, приводят к повреждению обмоток из-за механических и электрических переходных процессов. Причиной броска тока намагничивания сердечника может быть включение силового трансформатора с сеть. Так, для трансформатора мощностью 1000 МВ-А блока АЭС на мгновение по причине броска тока при включении на стороны ВН для генераторов создается режим форсировки возбуждения. Очень много зависит от конструкции сердечника, из-за остаточной в сердечнике трансформатора вызывает бросок тока при включении. Разрабатываются способы снижения и ликвидации бросков тока.

Перегрузка трансформатора по току. Так же на продолжительность службы силового трансформатора влияет по причине старения режим нагрузки.

В жаркое время года опасное влияние оказывает тепловое воздействие перегрузок, которые становятся причиной выхода из строя герметичных вводов ВН. Наиболее нагретые верхние слои масла нагревают данные вводы в нижней части. В результате таких повреждений образуется желтый налет внутри покрышки. [3].

Проанализируем повреждаемость силовых трансформаторов 110 кВ ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА», г. Павлодара за 2009-2011 годы. В результате наблюдений за двухлетний период получено сорок пять значений наработок до отказа трансформаторов.

Распределение повреждений в зависимости от места повреждения (узла/системы) трансформатора, приведено в таблице.

Наиболее часто повреждается витковая изоляция – 10 случаев (22%), причиной возникновения неисправности могут быть старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях.

Второе место среди причин повреждений занимают вводы – 8 случаев (17%), основные неисправности связаны с увлажнением и загрязнением изоляции негерметичных вводов, что приводит к развитию теплового и электрического пробоя изоляции ввода. Также неисправности связаны с отложением осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности остова. Они адсорбируют влагу и загрязнения, в том числе металлосодержащие. И

приводит к возникновению проводящих дорожек, развитию разрядов и пробою масляного канала ввода. Также случаи течи масла из вводов через резиновые прокладки. Возможно вызванные дефектами монтажа, ремонта и эксплуатации. Что приводит к снижению давления масла, нарушению герметичности, попаданию влаги и воздуха во ввод.

Таблица. Распределение повреждений

Поврежденный узел	**Количество**	**%**
Междуфазная изоляция	2	4,45
Обмотки и изоляция (из-за динамических усилий)	7	15,55
Витковая изоляция	10	22,23
Переключатели ответвлений	6	13,33
Активная сталь	1	2,23
Вводы	8	17,77
Отводы	1	2,23
Токоведущие части	3	6,66
Бак	3	6,66
Радиаторы	1	2,23
Прочие	3	6,66
Итого	45	100

Третье место занимают по повреждаемости обмотки – 7 случаев (15%). Наиболее часто обмотки выходят из строя по причине плохих контактных соединений и витковых КЗ.

Следующее место среди причин повреждения занимают недостатки переключающих устройств, которые начинаются с 14 лет эксплуатации. Максимальное количество повреждений переключающих устройств при 15-23 годов эксплуатации трансформаторов. Неисправности связаны с отсутствием контакта и оплавлением контактной поверхности.

Дефекты проходной изоляции, бака, фильтров, радиаторов, неисправности системы охлаждения малочисленны, но не менее опасны.

Не редко, трансформаторы отключаются в результате недостатков релейной защиты. В последнее время наблюдается возрастания таких отказов, что скорее всего связана с нехваткой квалифицированных релейщиков и большой текучкой кадров в группах РЗиА. Хотя такая тенденция характерна для всего обслуживающего персонала ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3.

Проанализировав собранные данные определим вероятность безотказной работы трансформаторов 110 кВ ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА», г. Павлодара за двухлетний период. Времени $t_i = 4000, 10000, 18000$ *ч*, если интенсивность отказов $\lambda = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ $ч^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный.

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$$P(t) = e^{-\lambda t};\ f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda};\ \lambda = const$$

Отсюда

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{2.4} = 4166\ ч;$$

$$P(4000) = exp\left[-\frac{4000}{4166}\right] = e^{-0.96} = 0.625$$

$$P(10000) = exp\left[-\frac{10000}{4166}\right] = e^{-2.4} = 0.427$$

$$P(18000) = exp\left[-\frac{18000}{4166}\right] = e^{-4.32} = 0.284$$

В результате полученных расчетных данных строим график зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$ трансформаторов 110 кВ, изображенный на рис. 1.

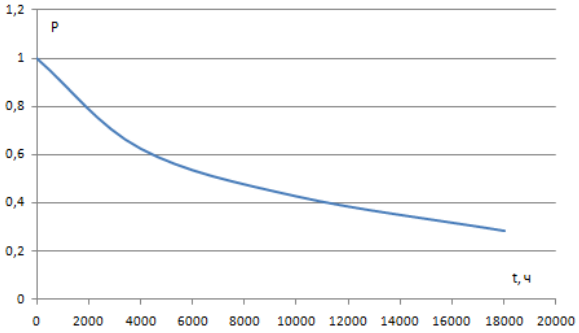


Рис. 1 – Вероятность безотказной работы трансформаторов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся в работе более 25 лет), вероятность безотказной работы будет снижается согласно кривой рис.1. Следовательно, требует более тщательного обслуживания, проведения капитальных ремонтов или замены устаревшего оборудования, в случая нерентабельности дальнейшей эксплуатации.

Список литературы

1. Чупак Т. М. Прогнозирование технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов дис. канд. тех. наук. – Красноярс, 2007. – 196 с.
2. Аль Хамри Саид Сейф Сабир Исследование дефектов в силовых трансформаторах и разработка мероприятий по повышению эффективности их диагностирования: дис. канд. тех. наук. – Иванова, 2005. – 152 с.
3. Ярославкина Е. Е. Информационно-измерительная система стендовых испытаний силовых трансформаторов в режимах холостого хода и короткого замыкания: дис. канд. тех. наук. – Самара, 2010. – 168 с.

АЛГОРИТМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРОЛЛЕЙБУСА

Михайлов И.Ю., Федянин А.Л.
Научный руководитель: О.П. Муравлев, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mihaylov_iy@mail.ru

Актуальность исследования. Тяговые асинхронные двигатели – основные электромеханические преобразователи электрической энергии в механическую для троллейбусов. Характерные особенности этих двигателей заключаются в том, что при отказе любого из них наступает отказ троллейбуса; «слабые звенья» этих двигателей – обмотки статора и ротора, для которых не существует методов технической диагностики, и развивающийся дефект всегда приводит к аварийному отказу.

Цель работы: разработать алгоритм статистического определения количественной оценки показателей эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбуса.

Для оценки надежности по принятой информации может быть использованы показатели наработки на отказ, интенсивности отказа, вероятности безотказной работы (ВБР) P(t). Они обладают хорошей наглядностью, по ним можно определить остальные показатели надежности.

В ходе исследований были проанализированы отказы электрооборудования (ЭО) 47 троллейбусов на базе Томского трамвайно-троллейбусного управления. Статистика велась в течение 5 лет.

Разработанный алгоритм определяет количественные показатели надежности (ПН) описанных узлов асинхронного электрического двигателя. Для определения ПН использованы статистические методы определения надежности, основными начальными параметрами которых являются данные наработок на отказ исследуемых электрических двигателей за некоторый промежуток времени.

Согласно рекомендациям [2] для определения количественных показателей надежности, описанных выше, подходит нормальный закон распределения. На основе предельной теоремы нормальный закон распределения лучше отражает физику и имеет свою основу, в случае большого количества одинаково влияющих (не превалирующих) параметров. В предлагаемой математической модели расчет показателей надежности производится для нормального, логнормального законов распределения, а также закона распределения Вейбулла.

Нормальная модель надежности подразумевает, что вероятность безотказной работы распределяется следующим образом:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx,$$

где μ - математическое ожидание, σ – среднеквадратичное отклонение.

В логнормальной модели надежности вероятность безотказной работы распределяется по закону:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx,$$

где параметры μ и σ аналогичны параметрам нормального распределения.

Функция вероятности безотказной работы модели надежности Вейбулла имеет вид:

$$P(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}},$$

где β - параметр формы, η - параметр, определяющий масштаб распределения:

$$\eta = e^{-\frac{a}{b}},$$
$$\beta = b$$

Точность выше приведенной модели оценивается с помощью коэффициента корреляции Пирсона [3].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\hat{P}(t_i) - \bar{\hat{P}}) \cdot (P(t_i) - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (\hat{P}(t_i) - \bar{\hat{P}})^2 \cdot \sum_{i=1}^{N} P(t_i) - \bar{P})^2}},$$

Описание алгоритма:

1. Ввод исходных данных, реализованный путем чтения файла Excel с данными наработок на отказ, как только поступивших в эксплуатацию тяговых электродвигателей, так и вышедших после ремонта. Также оператору необходимо ввести значение для расчета гамма-процентной наработки и значение доверительной вероятности.

2. Анализ и обработка получившегося исходного массива данных, которая включает в себя определение среднего значения и стандартного отклонения.

3. Формирование массива данных для функции Median Rank, с помощью которой происходит вычисление всех представленных законов распределения [4].

4. Расчет вспомогательных функций для нормального, логарифмически-нормального законов распределения и закона распределения Вейбулла.

5. Расчет точностных характеристик параметров, при котором происходит уточнение значений и определение границ применимости соответствующего закона.

6. Вывод количественного значения показателей надежности двигателя (вероятности безотказной работы, наработки на отказ, интенсивности отказа и т.д.), графиков функций распределения P(t), Q(t), f(t), Λ(t) и точностных характеристик параметров распределения.

Гистограмма, представленная на рис. 1а доказывает низкие показатели эксплуатационной надежности, а также изъяны производственно-технологической надежности на начальном этапе эксплуатации. Представленные на рис. 1б, 1в, 1г характеристики распределения ВБР, свидетельствуют о более точном определении зависимости нормального закона распределения и закона распределения Вейбулла, относительно фактических значений. На рис. 1 представлены распределения ВБР для электрического двигателя в целом. Учитывая происходящие физические процессы во время эксплуатации, и беря во внимание коэффициенты корреляции статора, ротора и подшипникового узла, авторами принято решение о выборе нормального закона распределения, как более точного для построения модели эксплуатационной надежности электрооборудования троллейбуса.

Цифрами на рисунке обозначены:

1 – теоретическое распределение вероятности безотказной работы;

2 – экспериментальное (расчетное) распределение вероятности безотказной работы

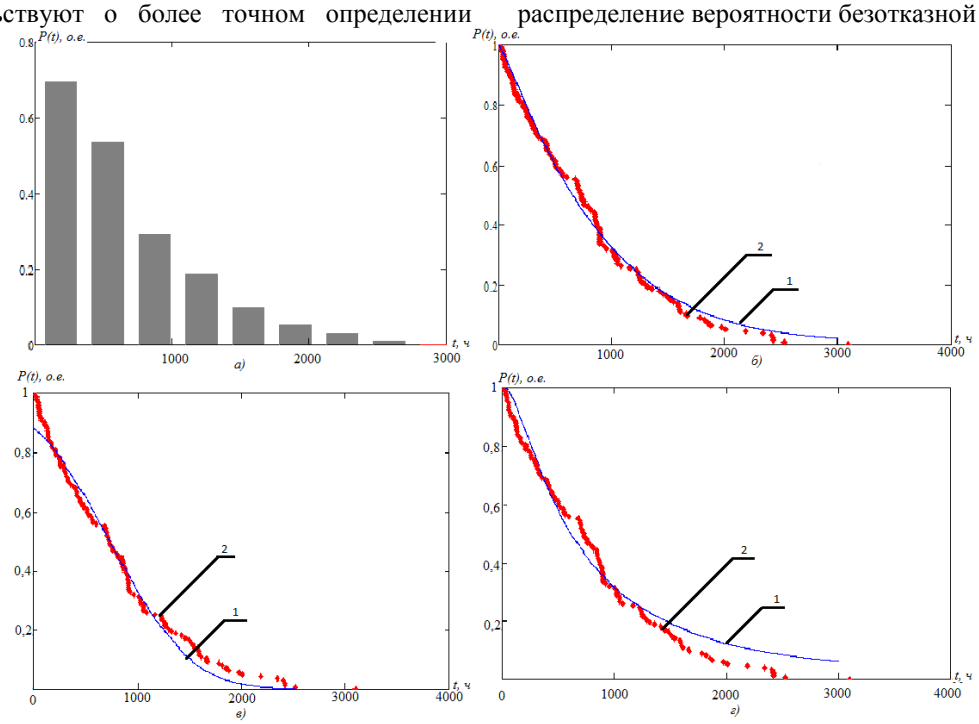


Рис.1. Гистограмма и функция распределения вероятности безотказной работы (представлены для электрического двигателя в целом): а) гистограмма ВБР ; б) функция ВБР - закона распределения Вейбулла; в) функция ВБР - нормальный закон распределения; г) функция ВБР - логнормальный закон распределения.

Выводы:

1. Впервые разработан алгоритм расчета количественных показателей эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов, позволяющая оценить как электрический двигатель в целом, так и ротор, статор и подшипниковый узел в отдельности.

2. Выбраны законы распределения эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов: нормальный, логнормальный, Вейбулла. В качестве основного принят нормальный закон распределения.

3. Представленные данные предназначены для создания программно-вычислительного комплекса количественной оценки показателей надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Морозов А.А. Синий троллейбус// Рыбинские известия. – 2013. - №2. – с.3.

2. Острейковский В.А. Теория надежности: Учебник для вузов / В.А. Острейковский. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.

3. Гусев В.В. Показатели безотказности электрических машин в реальных условиях эксплуатации алмазодобывающего комплекса // Известия Томского политехнического университета. – 2010 – Т. – №4 – С. 178–183.

4. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений: Учебник для вузов - М.: Наука, 1996. - 206 с.

СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Николаев Д.В.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E- mail: dmi3y_tsk@bk.ru

Исследование эксплуатационной надежности электрических машин переменного тока, используемых на предприятиях нефтехимической промышленности, актуально в настоящее время и связано с совершенствованием системы технического обслуживания и ремонта.

Надежность — свойство объекта сохранять в установленных пределах значения всех параметров во времени, способных выполнять требуемые функции в заданных режимах и определенных условиях применения, технического обслуживания, хранения и перевозки. [1]

Для достижения необходимой надежности асинхронных электродвигателей в эксплуатации, важную позицию занимают эмпирические оценки, которые позволяют оценить реальные показатели надежности. Количественные показатели надежности экспериментально можно определить по результатам лабораторных ускоренных испытаний и эксплуатационных испытаний. Последние на сегодняшний день являются основным источником информации об отказах изделий [2].

Основной задачей исследования является совершенствование существующей системы технического обслуживания и ремонта. Данные о электрических машинах и их отказах за 2013 год были собраны на предприятии ООО «Томскнефтехим» с производств полипропилена и полиэтилена. [3] После проведения анализа полученных данных была получена диаграмма представленная на рис. 1.

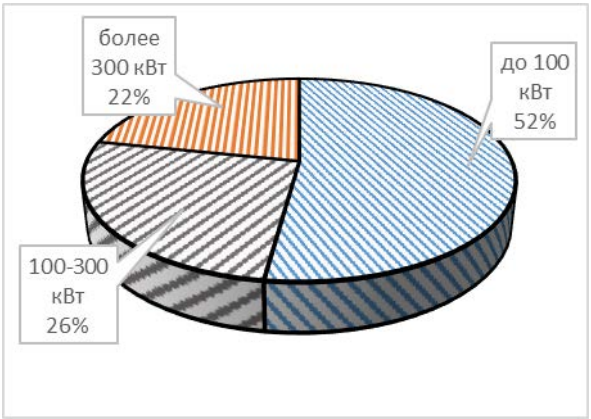


Рис. 1. Диаграмма распределения асинхронных двигателей по их мощности в процентах.

Из рис. 1 видно, что большинство используемых асинхронных двигателей 52% имеют мощность до 100 кВт (от 75 до 100 кВт). Примерно одинаковое количество 26% и 22% приходится на электродвигатели мощностью 100-300 кВт и более 300 кВт соответственно. Данная диаграмма актуальна для производства полипропилена, но стоит отметить тот факт, что для производства полиэтилена процентное соотношение и мощность асинхронных электродвигателей имеют похожие значения.

На рис. 2 показана гистограмма, на которой визуально изображена разница в количестве асинхронных электродвигателей вводимых в различные периоды времени. Так в период с 1979 до 1985 г.г. в эксплуатацию введен 61 асинхронный двигатель, тогда как с 2000 г. по сегодняшний день введено лишь 8 шт. Таким образом 88% двигателей эксплуатируемых на сегодняшний день имеют наработку более 30 лет. Из этого следует, что вопрос качества работы существующей системы технического обслуживания и ремонта актуален. Так же актуально совершенствование этой системы.

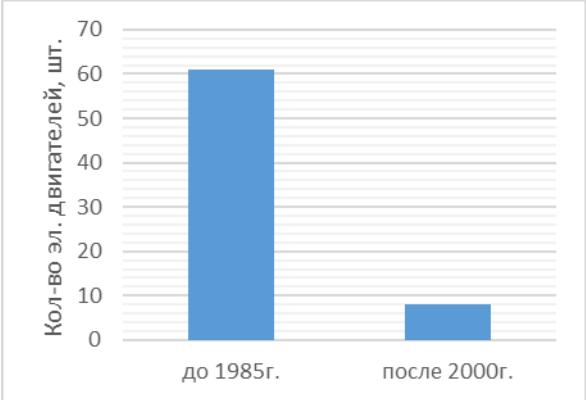


Рис. 2. Гистограмма количества асинхронных двигателей в зависимости от периода введения их в эксплуатацию.

Проведя анализ данных по отказам асинхронных электродвигателей, введенных в эксплуатацию в период с 1979 до 1985 г.г., были получены следующие результаты, представленные на рис. 3.

Как видно из рис. 3, большинство отказов асинхронных двигателей приходится на подшипниковый узел (87%). На статор приходится 8% всех отказов, а на ротор – 5%. В таблице приведены виды и причины отказов узлов асинхронных электродвигателей.

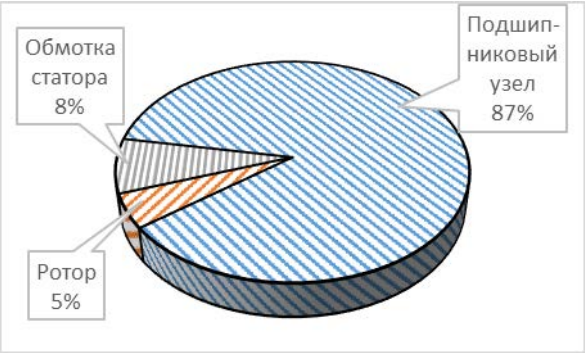


Рис. 3. Диаграмма распределения отказов узлов асинхронных двигателей введенных в эксплуатацию в период с 1979 до 1985 г.г.

Таблица. Виды и причины отказов узлов асинхронных электродвигателей.

Отказавший модуль	Классификация отказов	Причина отказа
Обмотка статора	Совместное межфазное и корпусное замыкание Межфазное замыкание Витковое замыкание Пробой корпусной изоляции	Конструктивное несовершенство, естественный износ, дефекты изготовления и старение.
	Обугливание и пробой изоляции, замыкание проводников и перегорание.	Заклинивание вала и перегрев обмотки
	Снижение сопротивления изоляции	Активное проникновение влаги внутрь АД
Ротор	Обрыв стержня и ротора, выплавление обмотки ротора.	Дефекты изготовления
	Задир ротора о статор	Естественный износ подшипника
Подшипниковый узел	Разрушение и заклинивание подшипника	Проникновение пыли и влаги Несоответствие выбранного типа подшипника данному виду нагрузки Неправильная установка Заводской дефект

Как видно из таблицы, разрушение и заклинивание подшипника может быть вызвано неправильной установкой подшипника. В результате анализа нормативной документации по ремонту электродвигателей на предприятии ООО «Томскнефтехим» было выявлено, что при установке подшипников не нормируются допуски и посадки. Таким образом, возможно, большинство отказов в подшипниковом узле асинхронного электродвигателя связанно с не правильной установкой подшипника в щит.

Заключение

На рис. 1 наглядно видно, что большинство используемых асинхронных двигателей 52% имеют мощность до 100 кВт. Примерно одинаковое количество 26% и 22% приходится на электродвигатели мощностью 100-300 кВт и более 300 кВт соответственно.

Гистограмма демонстрирующая разницу в количестве асинхронных электродвигателей вводимых в различные периоды времени, показана на рис. 2. Из гистограммы видно, что 88% двигателей эксплуатируемых на сегодняшний день имеют наработку более 30 лет. Из этого следует, что вопрос качества работы существующей системы технического обслуживания и ремонта актуален. Так же актуально совершенствование этой системы.

Большинство отказов асинхронных двигателей приходится на подшипниковый узел (87%). На статор приходится 8% всех отказов, а на ротор – 5%. Диаграмма изображенная на рис.3 наглядно показывает распределение отказов. В таблице приведены виды и причины отказов узлов асинхронных электродвигателей.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.»
2. Обеспечение надежности асинхронных двигателей/ Захарченко П.И., Шириин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.; УкрНИИВЭ. - Донецк, 1998. - 324 с
3. http://www.sibur.ru/tnhk/ (дата обращения 20.02.2014)

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЗАЗОРОВ ЗУБЧАТЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Рогова О.В.
Научный руководитель: Нейман В.Ю., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: olga_ryu_@mail.ru

Вопросу расчета магнитной проводимости воздушных зазоров зубчатых магнитных систем посвящено ряд работ [1-2], в которых приведены методики, базирующиеся на методе вероятных путей потока, однако, они дают существенную погрешность при расчетах магнитной проводимости воздушных зазоров относительно малых размеров ($\Delta/a \le 0{,}25$).

В данной статье предлагается методика расчета магнитной проводимости воздушных зазоров зубчатых магнитных систем, основывающаяся на методе вероятных путей потока, учитывающая особенности распределения линий магнитной индукции и геометрию зубцовой зоны магнитной системы при относительно малых значениях воздушных зазоров.

Предлагаемая методика разрабатывалась для электромагнитных систем с двухсторонней зубчатостью якоря, применяемых в бытовом компрессорном оборудовании [3-5].

При значении рабочего хода якоря, равного $x = (a + c)/2$, весь интервал разбивался на два участка: $0 \le x \le a$ (рис. 1,а) и $a < x \le (a + c)/2$ (рис. 1, б).

На участке $0 \le x \le a$ магнитная проводимость выражалась суммой таких простых фигур, как: прямоугольник ABA_1B_1 (G_1), треугольники ABC и $A_1B_1C_1$ (G_2 и G'_2), полукруги с радиусами OE и O_1E_1 (G_3 и G'_3), сектора колец с внешними радиусами ON и O_1N_1 (G_4 и G'_4).

Учитывая геометрическое подобие ряда приведенных выше фигур, формула суммарной магнитной проводимости одной пары зубцов примет вид:

$$G_\Sigma = G_1 + 2G_2 + 2G_3 + 2G_4 =$$

$$= l\mu_0 \times \left(\frac{a-x}{\Delta} + \frac{x}{4\Delta} + 0{,}26 \cdot 2 + \frac{2}{\pi - \gamma} \ln\left(\frac{0{,}8c}{\Delta} \right) \right),$$

где l – длина зубца, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ Гн/м$, Δ – воздушный зазор, a – ширина зубца, c – ширина межзубцового пространства.

Угол γ (на рис.1 не показан) может быть вычислен по теореме косинусов исходя из треугольника OAE:

$$\gamma = \arccos \frac{[OA]^2 + [OE]^2 - [AE]^2}{2[OA][OE]} = \arccos \frac{\frac{5}{16}x^2 + c\Delta}{c\sqrt{\Delta^2 + \frac{x^2}{4}}}$$

Следует отметить, что внешние радиусы колец ON и O_1N_1 ограничивались значением $0{,}4c$, что связано с удобством расчета магнитной проводимости при численных экспериментах, так же при вычитании сегмента с углом γ происходит вычитание треугольника ANE, магнитная проводимость которого близка к магнитной проводимости треугольника CDD′.

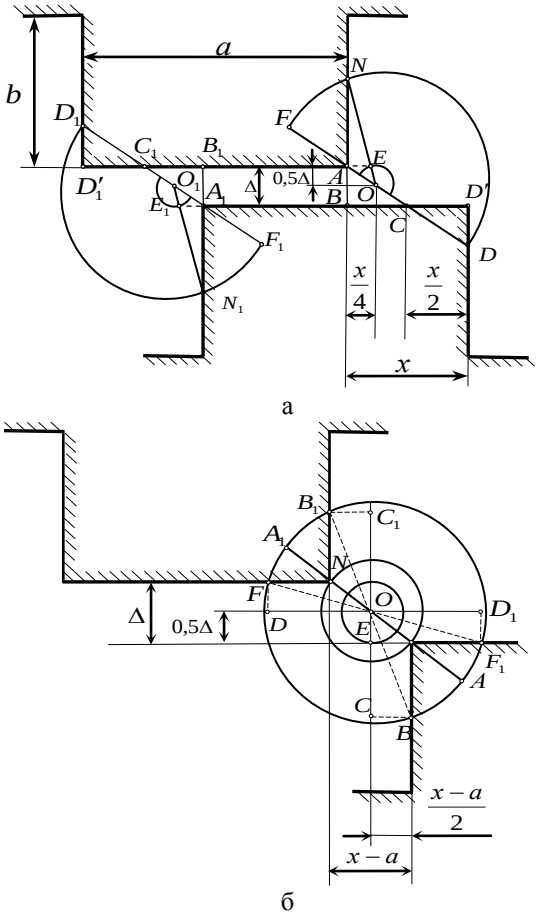


Рис.1. Картина разбиения магнитного поля

Отдельного внимания заслуживает расчет магнитной проводимости треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ (G_2 и G'_2): исходя из геометрии фигур можно заметить, что треугольники ABC и $A_1B_1C_1$ равны между собой и при сложении данных фигур получается прямоугольник со сторонами $AB = \Delta$ и $BC = x/2$, тогда суммарную магнитную проводимость двух равных треугольников, поверхность которых пересекается равным числом силовых линий можно выразить следующим образом:

$$2G_2 = l\mu_0 \frac{x}{2\Delta}$$

Однако следует предположить, что полученный условный прямоугольник, состоящий из треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ должен иметь меньшую проводимость, чем подобный прямоугольник, образованный в подзубцовой зоне, так как только

одна из сторон треугольников граничит с поверхностью зубца. Чтобы узнать во сколько раз магнитная проводимость треугольников будет отличаться от магнитной проводимости прямоугольника в подзубцовой зоне, был проведен численный эксперимент, в ходе которого определялись и сравнивались магнитные проводимости прямоугольника ABB_1A_1 (G_1) и треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ ($2G_2$).

Было установлено, что суммарная магнитная проводимость двух треугольников будет в два раза меньше магнитной проводимости подобного прямоугольника, образованного в подзубцовой зоне, тогда суммарная магнитная проводимость треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ может быть выражена следующим образом:

$$2G_2 = l\mu_0 \frac{x}{4\Delta}$$

Для участка смещения $a < x \le (a+c)/2$ магнитная проводимость будет описываться суммой таких простых фигур, как: полукруги с радиусом OE (G_1 и G'_1), сектора колец с радиусами OE и ON (G_2 и G'_2), сектора колец с радиусами ON и OA (G_3 и G'_3). Учитывая геометрическое равенство между собой ряда приведенных выше фигур, формула суммарной магнитной проводимости примет вид:

$$G_\Sigma = 2G_1 + 2G_2 + 2G_3 = n\mu_0 \times$$
$$\times\left[0{,}52 + \frac{2}{\frac{\pi}{2}-\alpha-\beta}\cdot\ln\left(\frac{\sqrt{(x-a)^2+\Delta^2}}{\Delta}\right) + \frac{2}{\frac{\pi}{2}+\alpha+\beta}\ln\left(\frac{0{,}8c}{\Delta}\right)\right]$$

Углы α и β (на рис.1 не показаны) могут быть вычислены по теореме косинусов исходя из треугольника ODF и OBC соответственно.

С целью проверки точности расчета магнитной проводимости по предлагаемой методике были проведен численный эксперимент, основывающийся на применении метода конечных элементов и выполняемый для плоскопараллельной задачи при следующих геометрических соотношениях зубцовой зоны: $a = 4мм$, $\Delta/a = 0{,}15 \div 0{,}2$, $c/a = 1{,}5$, $b/a = 1$, $l/a = 50$, $n = 3 \div 4$, где b – высота зубца, n – число пар зубцов с одной стороны якоря. При этом индукция в воздушных зазорах вблизи зубцов находилась в пределах 0,5-0,8 Тл.

Полученные экспериментальные и расчетные значения магнитных проводимостей при $n = 3$ отображены в виде кривых на рис.2, где через $G_{экс}$ обозначены кривые, полученные с помощью численного эксперимента, через G_p – полученные при расчете по описанной выше методике. Числовой индекс кривой соответствует определенному значению соотношения Δ/a, так кривая с индексом 1 описывает магнитную проводимость для соотношения $\Delta/a = 0{,}15$, а с индексами 2 и 3 – $\Delta/a = 0{,}175$ и $\Delta/a = 0{,}2$ соответственно.

Выводы:

1. Погрешность расчета магнитной проводимости при $n = 3$ по предложенной методике достигает для соотношений $\Delta/a = 0{,}15$, $\Delta/a = 0{,}175$ и $\Delta/a = 0{,}2$ – 18%, 11% и 10% соответственно;

2. Погрешность расчета при $n = 4$ для соотношений $\Delta/a = 0{,}15$, $\Delta/a = 0{,}175$ и $\Delta/a = 0{,}2$ достигает 18%, 15% и 13% соответственно;

3. Предложенная методика расчета магнитной проводимости может быть использована для магнитных систем, удовлетворяющих условию $\Delta/a \ge 0{,}175$, а для диапазона соотношений $\Delta/a \le 0{,}175$ рекомендуется применение поправочного коэффициента;

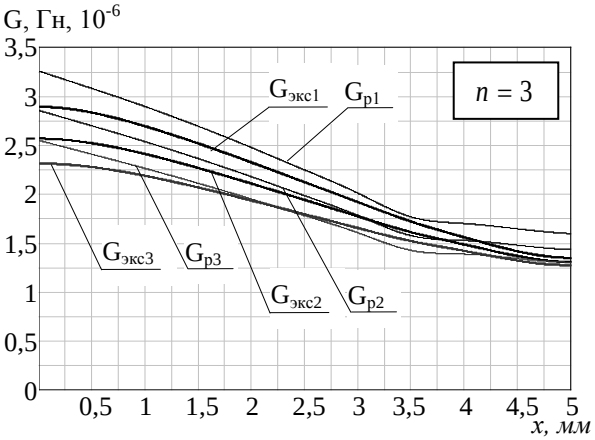


Рис.2. Графики магнитных проводимостей

Применение описанной методики расчета магнитной проводимости воздушных зазоров зубчатых магнитных систем позволяет сократить набор операций, необходимых для расчета и повысить его точность.

Список литературы

1. **Коц Б.Э.** Определение проводимости воздушного зазора зубчатых магнитных систем // Электротехника. – 1964. - № 9. — С. 18-19.

2**. Емельянов И. Я.** Основы конструирования исполнительных механизмов управления ядерных реакторов / И.Я. Емельянов, В.В. Воскобойников, Б.А. Масленок.– М.: Энергоатомиздат, 1987.-232с.

3. **Пат. 112722, МПК F04B45/00.** Электромагнитный компрессор / В. Ю. Нейман, О. В. Рогова. – № 2011133626/06; Заявлено 10.08.11; Опуб. 20.01.12, Бюл № 2. - 2 с.: ил.

4. **Пат. 116916, МПК F04B45/04.** Электромагнитный компрессор / В. Ю. Нейман, Л. А. Нейман, О. В. Рогова. - № 2011151028/06; Заявлено 14.12.11; Опуб. 10.06.12, Бюл № 16. - 2 с.: ил.

5. **Нейман В. Ю.** Бытовое компрессорное оборудование с линейным электромагнитным двигателем / В. Ю. Нейман, О. В. Рогова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. - С. 257-261.

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Рогова О.В.
Научный руководитель: Нейман В.Ю., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: olga_ryu_@mail.ru

От точности в определении магнитной проводимости воздушных зазоров зависит точность расчета тяговых характеристик, поэтому анализу данного параметра необходимо уделять должное внимание [1-2].

На основании проведенных ранее исследований было выявлено, что при малых значениях воздушных зазоров, например, при $\Delta/a = 0{,}075$ доля магнитной проводимости подзубцовой зоны, описываемой геометрической фигурой в виде призмы, может достигать 90% от магнитной проводимости системы с учетом поля выпучивания [3]. С этой точки зрения при расчетах магнитной проводимости магнитных систем с зубчатой структурой магнитопровода и относительно малыми воздушными зазорами целесообразно применять поправочные коэффициенты не к геометрическим фигурам, описывающим поле выпучивания, а к призме, характеризующей магнитную проводимость подзубцовой зоны.

На основании сопоставления экспериментальных и расчетных данных магнитной проводимости, описываемой геометрической фигурой в виде призмы, было выявлено, что на рассогласование кривых, характеризующих экспериментальные и расчетные значения магнитной проводимости, влияет их угол наклона. Поэтому для снижения погрешности расчета магнитной проводимости при малых воздушных зазорах в данной работе предлагается поправочный коэффициент учитывающий углы наклона данных кривых.

На рис. 1 приведено графическое пояснение расчета поправочного коэффициента k для магнитной проводимости подзубцовой зоны магнитной системы с двухсторонней зубчатостью якоря при $\Delta/a = 0{,}15$ и $n = 5$, где a – ширина зубца, Δ – воздушный зазор, n – число пар зубцов с одной стороны якоря.

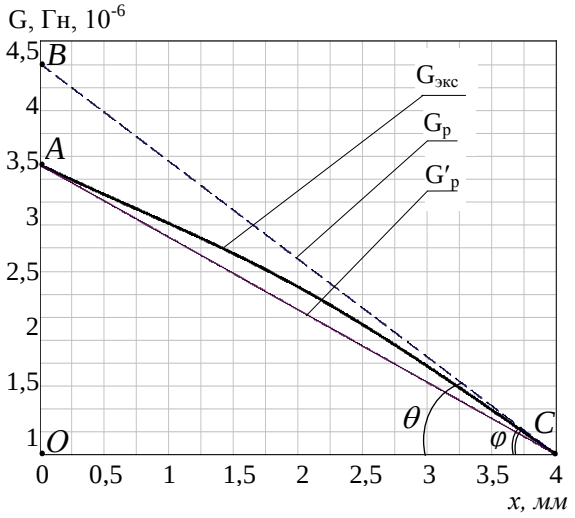


Рис. 1. Расчет коэффициента при $\Delta/a = 0{,}15$

При заметном отклонении кривой, характеризующей магнитную проводимость, полученную в ходе эксперимента, угол ее наклона определялся по углу наклона секущей, проходящей через точки A и C, что существенно упрощает расчет поправочного коэффициента, так как для его определения достаточно знать значение магнитной проводимости подзубцовой зоны в момент магнитного равновесия системы.

Если принять во внимание, что угол наклона прямой определяется угловым коэффициентом, значение которого равно тангенсу угла, образующегося при пересечении прямой и оси абсцисс, тогда:

$$tg\theta = \frac{OB}{OC} = \frac{G_p}{a} = \frac{0{,}5mn\mu_0\, a/\Delta}{a} = \frac{mn\mu_0}{2\Delta},$$

где $m = n/2$ при двухсторонней зубчатости якоря, при односторонней зубчатости якоря $-m = n$.

$$tg\varphi = \frac{OA}{OC} = \frac{G_{экс}}{a}$$

Тогда поправочный коэффициент может быть вычислен как отношение этих тангенсов:

$$k = \frac{tg\varphi}{tg\theta} = \frac{2\Delta G_{экс}}{mn\mu_0 a}$$

Приведенным способом были рассчитаны поправочные коэффициенты для магнитных систем с зубчатой структурой магнитопровода для $n = 3 \div 5$ и диапазона соотношений $\Delta/a = 0{,}075 \div 0{,}2$ (рис. 2).

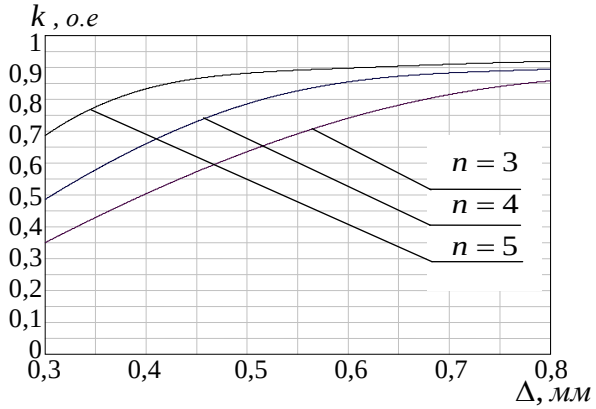


Рис.2. Поправочный коэффициент

С учетом поправочного коэффициента k формулы расчета магнитной проводимости одной

пары зубцов [4] для интервала значений $0 \le x \le a$ примет вид:

$$G_\Sigma = ml\mu_0 \left(\frac{\left(a - \frac{3}{4}x\right)k}{\Delta} + 0{,}52 + \frac{2}{\pi - \gamma} \ln\left(\frac{0{,}8c}{\Delta}\right) \right)$$

Для интервала значений $a < x \le (a+c)/2$:

$$G_\Sigma = ml\mu_0 \times$$

$$\times \left[0{,}52 + \frac{2}{\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta} \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{\left[\frac{k}{2}(x-a)\right]^2 + \Delta^2}}{\Delta} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{2}{\frac{\pi}{2} + \alpha + \beta} \ln\left(\frac{0{,}8c}{\Delta}\right) \right]$$

На основании методики, предложенной в [4], и с учетом поправочного коэффициента *k* был произведен расчет магнитной проводимости магнитных систем с зубчатой структурой магнитопровода, используемых в бытовом компрессорном оборудовании [5-7].

Численный эксперимент основывался на применении метода конечных элементов и выполнялся для плоскопараллельной задачи при следующих геометрических соотношениях зубцовой зоны: $a = 4мм$, $\Delta/a = 0{,}075 \div 0{,}15$, $c/a = 1{,}5$, $b/a = 1$, $l/a = 50$, $n = 3$, где c – ширина межзубцового пространства, b – высота зубца, l – длина зубца. При этом индукция в воздушных зазорах вблизи зубцов находилась в пределах 0,5-0,8 Тл.

Полученные экспериментальные и расчетные значения магнитных проводимостей отображены в виде кривых на рис.2, где через $G_{экс}$ обозначены кривые, полученные с помощью численного эксперимента, через G_p – полученные при расчете без поправочного коэффициента, а через G'_p – с коэффициентом *k*. Числовой индекс кривой соответствует определенному значению соотношения Δ/a, так кривая с индексом 1 описывает магнитную проводимость для соотношения $\Delta/a = 0{,}1$, а с индексами 2 – $\Delta/a = 0{,}125$.

Выводы:

1. Погрешность расчета без учета поправочного коэффициента *k* для соотношений $\Delta/a = 0{,}075$, $\Delta/a = 0{,}1$ достигает 60% и 44% соответственно, а для соотношений $\Delta/a = 0{,}125, \Delta/a = 0{,}15$ – 30% и 18% соответственно;

2 Погрешность с учетом поправочного коэффициента *k* для соотношений $\Delta/a = 0{,}075$ и $\Delta/a = 0{,}1$ составила 15% и 8,5% соответственно, а для соотношений и $\Delta/a = 0{,}125, \Delta/a = 0{,}15$ – 12,3% и 10% соответственно.

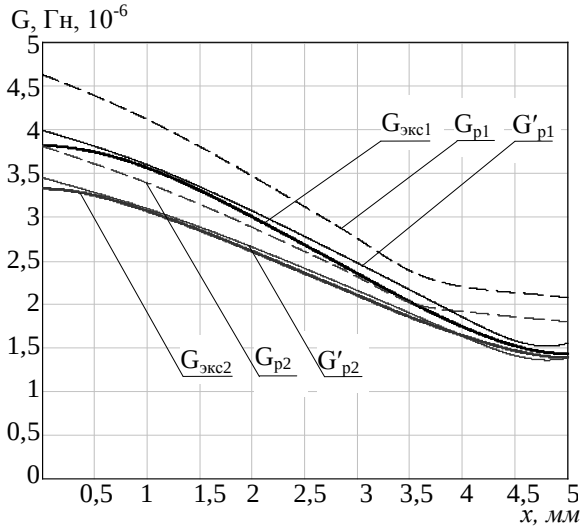


Рис.3. График магнитных проводимостей

В заключении следует отметить, что предложенный поправочный коэффициент существенно уменьшает вероятность ошибки при расчетах и может быть применим для расчета магнитных проводимостей относительном малых воздушных зазоров ($\Delta/a \le 0{,}15$) по методикам, базирующимся на методе вероятных путей потока, так как при этом формула для расчета магнитной проводимости позубцовой зоны остается неизменной.

Список литературы

1. **Нейман Л. А.** К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода / Л. А. Нейман, О. В. Рогова // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. - № 1. - С. 100-108.

2. **Рогова О. В.** Сравнение тяговых характеристик электромагнитных двигателей с двухсторонней зубчатостью якоря // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2013. - № 2. - С. 317-320.

3. **Рогова О. В.** Расчет зубчатых магнитных систем для технологического виброимпульсного оборудования // Современные проблемы машиностроения : сб. науч. тр.– Томск, 2013. – С. 60-62.

4. **Рогова О. В.** Методика расчета магнитной проводимости воздушных зазоров зубчатых магнитных систем // Статья в данном сборнике

5. **Пат. 112722, МПК F04B45/00.** Электромагнитный компрессор / В. Ю. Нейман, О. В. Рогова. – № 2011133626/06; Заявлено 10.08.11; Опуб. 20.01.12, Бюл № 2. - 2 с.: ил.

6. **Пат. 116916, МПК F04B45/04.** Электромагнитный компрессор / В. Ю. Нейман, Л. А. Нейман, О. В. Рогова. - № 2011151028/06; Заявлено 14.12.11; Опуб. 10.06.12, Бюл № 16. - 2 с.: ил.

7. **Нейман В. Ю.** Бытовое компрессорное оборудование с линейным электромагнитным двигателем / В. Ю. Нейман, О. В. Рогова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. - С. 257-261.

МАТМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Розаев И.А
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: RozayevIA@gmail.com

В условиях развития промышленных систем и систем с повышенными требованиями к надежности и отказоустойчивости исполнительных механизмов появляется необходимость разработки математической модели вентильно-индукторного электродвигателя в аварийных неполнофазных режимах работы.

В основу математической модели вентильно-индукторного двигателя положены уравнения электрических контуров составленные для каждой из фаз. Приняты допущения, что магнитные системы каждой фазы идентичны друг другу, гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе не учитываются, а активные сопротивления фаз равны [1,2]. В этом случае каждая фаза ВИД описывается уравнением электромагнитного равновесия, согласно второму закону Кирхгофа. Уравнение электрического равновесия двигателя:

$$U_x = R_s i_s + \frac{d\psi(\theta_{ex}, i_{ex})}{dt},$$

где U_x – напряжение приложенное к обмотке фазы с индексом x;
i_x – фазный ток;
R_s – электрическое сопротивление фазы;
$\psi(i_x, \theta_{ex}) = L_x(i_x, \theta_{ex}) \cdot i_x$ - потокосцепление фазы.

Известно, что индуктивность обмоток в вентильно-индукторном электродвигателе представляется нелинейной зависимостью текущего положения ротора и значения фазного тока, которая может быть представлена как:

$L(i, \theta_e) = L_0(i) + L_1(i) \cdot \cos\theta_e + L_2(i) \cdot \cos 2\theta_e$, где

$\theta_e = N_r \theta_r$ - электрический угол ротора в радианах;

N_r - число полюсов ротора;

θ_r - механический угол положения ротора в радианах;

$L_0(i)$, $L_1(i)$, $L_2(i)$ – функции зависимостей индуктивности от тока основанные на трех основных положениях ротора в пространстве магнитного поля (по закону Фарадея об ориентации ферримагнитных материалов в пространстве магнитного поля)[3, 4].

Преобразуем уравнения электрического равновесия двигателя:

$$U_x = R_s i_x + \frac{d\left\{L_x(i_x, \theta_e) i_x\right\}}{dt} =$$

$$R_s i_x + L_x(i_x, \theta_e)\frac{di_x}{dt} + i_x \frac{d\theta_{ex} \cdot dL_x(i_x, \theta_e)}{dt \cdot d\theta_e} = \quad \omega$$

$$R_s i_x + L_x(i_x, \theta_e)\frac{di_x}{dt} + \frac{dL_x(i_x, \theta_e)}{d\theta_e} \cdot \omega \cdot i_x \text{ , где}$$

- угловая частота вращения ротора;

В данном уравнении в правой части представлены слагаемые показывающие потери напряжения на активном и реактивном сопротивлении и возникающая в системе противо-ЭДС, которая может быть выражена как:

$$e = \frac{dL_x(i_x, \theta_e)}{d\theta_e} \cdot \omega \cdot i_x = K_{bx} \cdot \omega \cdot i_x, \text{ где}$$

$L_{dx} = \frac{di_x}{dt}$ - дифференциальная индуктивность;

$K_{ex} = \frac{d\Psi_x}{d\theta_e}$ - коэффициент противо-эдс;

Для случая вращающейся электрической машины, зависимость механической энергии от электромеханического момента при изменении положения ротора записывается как [3]:

$\Delta W_x = M_x \cdot \Delta\theta_r$, где

M_x – электромагнитный момент двигателя формируемый одной фазой;
W_x – механическая энергия.

Отсюда: $M_x = \frac{\Delta W_x}{\Delta\theta_r}$, с учетом приятых допущений принимаем момент на валу двигателя равным электромагнитному моменту, тогда изменение механической энергии равно изменению магнитной коэнергии $\Delta W'_f$ [5].

$$W'_f = \frac{1}{2} L_x(i_x, \theta_r).$$

Отсюда: $M_x = \frac{\Delta M_x}{\Delta\theta_r} = \frac{\Delta W'_{fx}}{\Delta\theta_r} = \frac{\partial L_x(i_x, \theta_r)}{\partial\theta_r} \cdot \frac{i_x^2}{2}$.

Момент двигателя представляет собой сумму моментов формируемых фазами, учитывая, что фазы не зависимы и не связаны электрическими и магнитными взаимодействиями.

Поэтому: $M_{дв} = \sum_{x=1}^{m} M_x(i_x, \theta_r)$, где

$M_x(i_x,\theta_r)$ – момент, развиваемый фазой с индексом *x*; *m* – число фаз двигателя.

Для описания вращательного движения ротора представим механическую часть в виде одномассовой системы [2]. Тогда уравнения движения будут иметь вид:

$$\begin{cases} J\dfrac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_c; \\ \omega = \dfrac{d\theta_r}{dt}, \end{cases}$$

, где J – приведенный момент инерции ротора; ω - угловая частота вращения ротора;

Таким образом, математическая модель одной секции трехфазного вентильно-индукторного двигателя имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{di_A}{dt} = \dfrac{1}{L_{dA}} \cdot (U_A - R_s\, i_A - K_{bA} \cdot \omega \cdot i_A); \\ L_{dA} = L_{dA}(i_A, \theta_e); \\ K_{bA} = K_{bA}(i_A, \theta_e); \\ \dfrac{di_B}{dt} = \dfrac{1}{L_{dB}} \cdot (U_B - R_s\, i_B - K_{bB} \cdot \omega \cdot i_B); \\ L_{dB} = L_{dB}(i_B, \theta_e); \\ K_{bB} = K_{bB}(i_B, \theta_e); \\ \dfrac{di_C}{dt} = \dfrac{1}{L_{dC}} \cdot (U_C - R_s\, i_C - K_{bC} \cdot \omega \cdot i_C); \\ L_{dC} = L_{dC}(i_C, \theta_e); \\ K_{bC} = K_{bC}(i_C, \theta_e); \\ \omega = \dfrac{d\theta_r}{dt}; \\ J\dfrac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_c \ , \end{cases}$$

Для нормально рабочего состояния:

$$i_{xn} = \begin{bmatrix} i_{1A} & 0 & 0 \\ 0 & i_{1B} & 0 \\ 0 & 0 & i_{1C} \\ i_{2A} & 0 & 0 \\ 0 & i_{2B} & 0 \\ 0 & 0 & i_{2C} \end{bmatrix}; \; U_{xn} = \begin{bmatrix} U_{1A} & 0 & 0 \\ 0 & U_{1B} & 0 \\ 0 & 0 & U_{1C} \\ U_{2A} & 0 & 0 \\ 0 & U_{2B} & 0 \\ 0 & 0 & U_{2C} \end{bmatrix};$$

$$L(i_{xn}, \theta_e) = \begin{bmatrix} L_{1A}(i_{1A}, \theta_e) & 0 & 0 \\ 0 & L_{1B}(i_{1B}, \theta_e) & 0 \\ 0 & 0 & L_{dA}(i_A, \theta_e) \\ L_{2A}(i_{2A}, \theta_e) & 0 & 0 \\ 0 & L_{2B}(i_{2B}, \theta_e) & 0 \\ 0 & 0 & L_{2C}(i_{2C}, \theta_e) \end{bmatrix};$$

$$M_{xn} = \begin{bmatrix} M_{1A}(i_{1A}, \theta_r) & 0 & 0 \\ 0 & M_{1B}(i_{1B}, \theta_r) & 0 \\ 0 & 0 & M_{1C}(i_{1C}, \theta_r) \\ M_{2A}(i_{2A}, \theta_r) & 0 & 0 \\ 0 & M_{2B}(i_{2B}, \theta_r) & 0 \\ 0 & 0 & M_{2C}(i_{2C}, \theta_r) \end{bmatrix};$$

$$M_{дв} = M_A + M_B + M_C$$

Соответственно при отказе в одной из фаз на основании диагностики системы возможно формирование подобных матриц отказов, с помощью которых возможно осуществлять отказоустойчивое управление системой электропривода при условии заложенного в систему управления алгоритма отказоустойчивого управления вентильно-индукторным электродвигателем в аварийных режимах работы.

Вывод:

Разработана математическая модель многосекционного вентильно-индукторного электродвигателя, с матрицей состояния, позволяющая исследовать работу электропривода в аварийных, неполнофазных режимах работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Розаев И.А, Однокопылов Г.И, «Моделирование вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах работы» // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 4. - С. 138-143

2. Любарский Б. Г., Рябов Е.С. «Моделирование электроприводов на основе реактивных индукторных двигателей в среде MatLabSimulink». Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

3. K.I. Hwu. Applying POWERSYS and SIMULINK to modeling Switched reluctance motor/ Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 429-438 (2009).

4. JIn-Woo Ahn. Switched Reluctance Motor, Torque Control, Prof. Moulay Tahar Lamchich (Ed.). 292 pages. Kyungsung University, Korea 2011.

5. R. Krishnan. Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications. Boca Raton: CRC Press, 2001.

ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ–АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

Русскин В.А., Однокопылов И.Г.
Научный руководитель: Однокопылов И.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vrsskn@gmail.com

В настоящее время достаточно распространенной является система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ–АД), в которой применяется двухзвенный ПЧ с автономным инвертором напряжения (АИН) ввиду таких преимуществ, как простота и широкий диапазон выходных частот. Однако электропривода, выполненные по такой системе, уязвимы к различным неисправностям в АИН. Самой распространенной и требующей наиболее тщательного рассмотрения является выход из строя IGBT модулей в результате воздействия сквозного тока в схеме полумоста инвертора преобразователя частоты. Сквозной ток возникает вследствие несанкционированного одновременного включения обоих транзисторов полумоста. К авариям в модулях могут привести следующие причины: малое «мёртвое» время; сбой в системе управления; ложное включение драйвера в результате электромагнитной помехи; неисправность драйверов; обрыв цепей управления [1].

На основе существующих на данный момент вариантов схем системы ПЧ–АД была разработана имитационная модель, позволяющая имитировать: обрыв фазы двигателя, невключение и невыключение силового транзистора преобразователя. Модель позволяет проводить разработку и исследования средств диагностики и защиты частотно-регулируемого электропривода.

При создании модели были приняты следующие допущения:

- динамические свойства IGBT–транзисторов не учтены;
- тепловые свойства двигателя, IGBT-транзисторов и сопутствующих элементов не учитываются;
- все параметры двигателя линейные;
- двигатель имеет гладкий воздушный зазор [3];
- питающая сеть представляет собой идеальный источник напряжения.

Структурная схема электропривода, разработанная при помощи программы MatLAB Simulink, изображена на рис. 1.

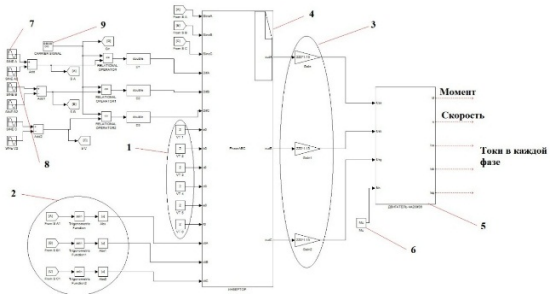


Рис. 1. Структурная схема модели ПЧ–АД. 1 – константы, определяющие состояние транзисторов (всегда закрыт – 0, всегда открыт – 1, работает нормально – 2); 2 – вспомогательные блоки для моделирования «мёртвого» времени; 3 – блоки, масштабирующие выходной сигнал; 4 – S-функция на языке C; 5 – модель АД в неподвижной естественной системе координат; 6 – момент нагрузки; 7 – модулирующий сигнал первой гармоники; 8 – модулирующий сигнал третьей гармоники; 9 – несущий сигнал

Принцип работы схемы заключается в следующем. На блок сравнения (Relational operator) поступает пилообразный несущий, с частотой 16 кГц, и модулирующий синусоидальный сигналы, имеющие одинаковую амплитуду. В момент времени, когда мгновенное значение модулирующего сигнала больше несущего по абсолютному значению, блок сравнения имеет на выходе 1, в противном случае – 0. Полученное значение с блока сравнения поступает на S-функцию, упрощённый алгоритм которой представлен блок-схемой на рис. 2. После этого выходной сигнал с блока 4 масштабируется для придания ему необходимой амплитуды и после этого подаётся на модель двигателя.

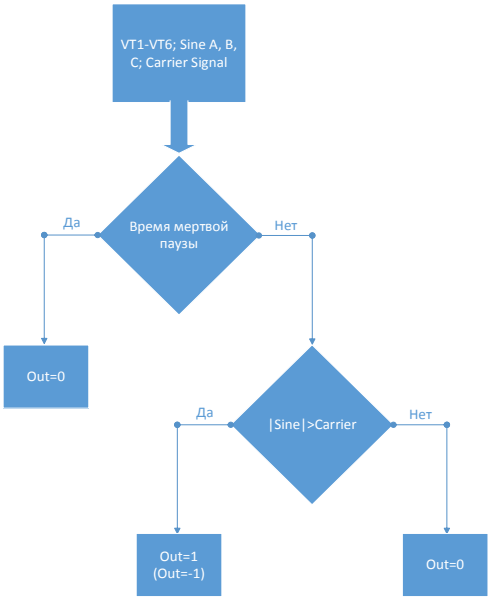


Рис. 2. Блок-схема алгоритма формирования выходного сигнала при безаварийной работе

Двигатель представлен в виде трехфазной идеализированной машины в заторможенной системе координат, что позволяет использовать модель при исследовании несимметричных режимов [3]. Разработанная модель позволяет имитировать следующие аварийные режимы: невключение и невыключение силового транзистора, обрыв фазы двигателя, КЗ двигателя, асимметрию напряжения. Рассмотрим некоторые из них подробнее на основе иллюстрации осциллограмм сигналов, приведенных на рис. 3.

При невыключении транзистора в аварийном режиме, через постоянно открытый силовой ключ, потенциал с выпрямителя подаётся на выход блока 4 (рис. 1) в течении всего полупериода положительной полярности модулирующего сигнала. При отрицательной полярности модулирующего сигнала начинает переключаться второй силовой ключ, что приводит к короткому замыканию транзисторной стойки. В моменты КЗ в транзисторной стойке напряжение на её выходе и на выходе других стоек становятся равными нулю.

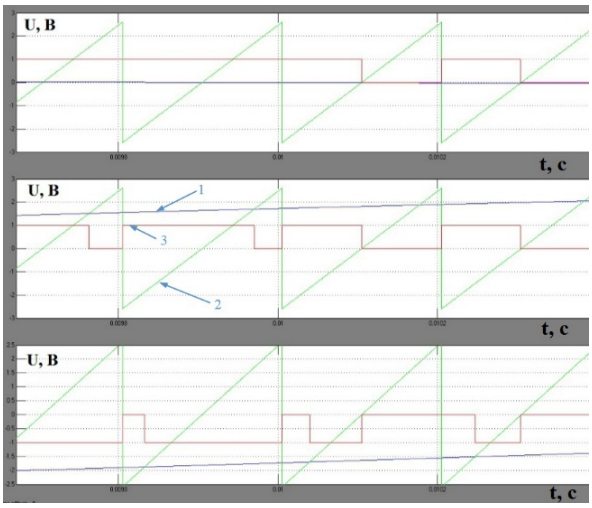


Рис. 3. Осциллограммы сигналов при аварии невыключения транзистора. 1 – Модулирующий сигнал; 2 – несущий сигнал; 3 – выходной сигнал

При невключении транзистора, через постоянно закрытый транзистор, напряжение со звена постоянного тока не подаётся, следовательно, на положительном полупериоде модулирующего напряжения выходной сигнал равен нулю. Авария никак не затрагивает работу поврежденной стойки на отрицательном полупериоде модулирующего сигнала и работу других стоек.

Разработанная имитационная модель позволяет исследовать различные аварийные режимы со стороны преобразователя и со стороны двигателя. Результаты моделирования показали, что диагностика системы ПЧ-АД позволяет выявить не работающую стойку инвертора и принять возможные меры по восстановлению работоспособности электропривода.

Список литературы:

1. А. Бормотов, В. Мартыненко, В. Мускатиньев, Некоторые вопросы эксплуатации IGBT–модулей, Компоненты и технологии, № 5, – 2005, с.116
2. Fault-Tolerant Voltage-Fed PWM Inverter AC Motor Drive Systems. Ricardo Lucio de Araujo Ribeiro, Cursino Brandao Jacobina.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин; Учеб. для вузов. – 3е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОТОРА МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ

Самодуров И.Н., Кодермятов Р.Э., Иванова А.Г.
Научный руководитель: Мартемьянов В.М. к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: blackeel@yandex.ru

В настоящее время на кафедре Точного Приборостроения ведутся активные исследования моментного двигателя с ленточной намоткой. Для данных исследований был создан макет двигателя, с помощью которого появилась возможность получить экспериментальные и аналитические данные. Одной из главных задач являлось получение реальных значений характеристик данного двигателя. Решение этой задачи позволило бы точно описать характер его движения.

В ранее проводимых исследованиях[2] был описан импульсный режим работы моментного двигателя с ограниченным углом поворота, получен график силовой характеристики данного двигателя, а так же проведена его кусочно-линейная аппроксимация.

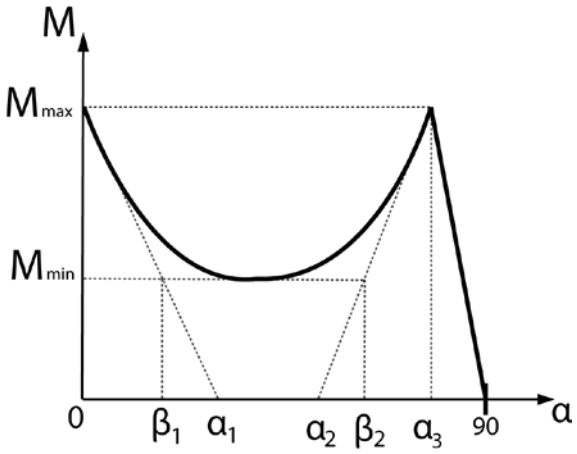


Рисунок 1. Силовая характеристика двигателя.

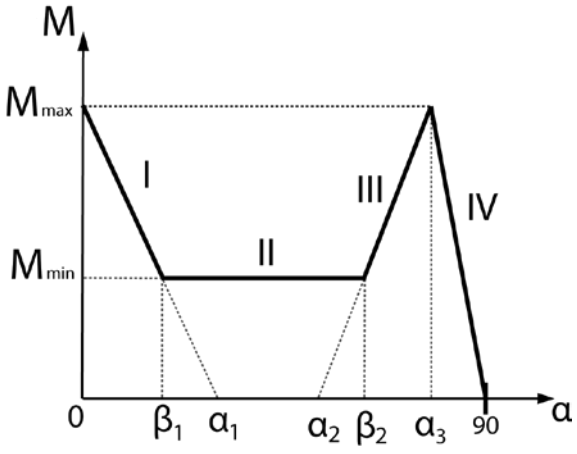


Рисунок 2. Кусочно-линейная аппроксимация силовой характеристики.

$$\beta_1 = 10°, a_1 = 15°, a_2 = 75°, \beta_2 = 80°, a_3 = 85°.$$

После этого для каждого участка кусочно-линейной аппроксимации (Рис.2) составлялось уравнение движения с учетом особенностей прохождения этого участка. Из данных уравнений рассчитывались: время прохождения участка, конечная скорость, зависимость изменения координаты с течением времени.

Экспериментальным путем[1] были получены характеристики данного двигателя: максимальный и минимальный момент двигателя (M_{max} и M_{min}), а так же момент инерции(J).

$$M_{max} = 13.2 \cdot 10^{-3} Н \cdot м, \quad M_{min} = 2 \cdot 10^{-3} Н \cdot м,$$
$$J = 3.37 \cdot 10^{-3} кг \cdot м^2.$$

На основе заданных уравнений и полученных экспериментальных данных[1] появляется возможность расчета конкретных значений угловой скорости и время прохождения каждого из участков.

Уравнение движения для первого участка:

$$J\ddot{\alpha} = M_{max} - \frac{M_{max}}{a_1}\alpha.$$

Используя операторный метод решения дифференциальных уравнений, находим зависимость изменения угла с течением времени:

$$\alpha(t) = a_1 - a_1 \cdot \cos\sqrt{\frac{M_m}{J \cdot a_1}} \cdot t.$$

Из полученной выше зависимости выводим время прохождения данного участка графика:

$$t_1 = \sqrt{\frac{J \cdot a_1}{M_m}} \cdot \arccos\frac{M_{min}}{M_{max}} = 0{,}367 \text{ с}.$$

Зная то, что скорость это первая производная по времени находим конечную угловую скорость на данном участке:

$$\dot{\alpha_1} = \sqrt{a_1 \cdot \frac{M_{max}}{J} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{min}}{M_{max}}\right)^2\right)} = 1{,}001 \frac{рад}{с}.$$

Для других участков графика кусочно-линейной аппроксимации (Рис.2) решаем аналогичные уравнения, различия в которых обусловлены лишь характером движения на каждом отдельном участке. Так же учитываем, что

конечная скорость на предыдущем участке является начальной для данного участка.

Для второго участка имеем:

$$J\ddot{\alpha} = M_{min}$$

$$\alpha(t) = \frac{M_{min}}{2 \cdot J} \cdot t^2 + \dot{\alpha_2} \cdot t$$

$$t_2 = \frac{J \cdot \dot{\alpha_1}}{M_{min}} \left[\sqrt{1 + \frac{2 \cdot {M_{min}}^2 \cdot a_2}{J \cdot M_{max} \cdot {a_1}^2}} - 1 \right] = 0{,}199 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha_2} = \sqrt{a_1 \cdot \frac{M_{max}}{J} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{min}}{M_{max}}\right)^2\right) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot {M_{min}}^2 \cdot a_2}{J \cdot M_{max} \cdot {a_1}^2}\right)}$$

=1,119 рад/с.

Для третьего участка:

$$J\ddot{\alpha} = \frac{M_{max} - M_{min}}{a_2 - \beta_2} \cdot \alpha \cdot M_{min}$$

$$\alpha(t) = B(chAt - 1) + \frac{a_2}{A} \cdot shAt$$

$$A = \sqrt{\frac{M_{max} - M_{min}}{J(a_2 - \beta_2)}} \quad B = \frac{M_{min(a_2 - \beta_2)}}{M_{max} - M_{min}}$$

$$t_3 = 0.6944 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha_3} = A \cdot B \cdot shAt_3 + \dot{\alpha_2} \cdot chAt_3 = 44.182 \text{ рад/с.}$$

Для четвертого участка:

$$J\ddot{\alpha} = M_{max} - \frac{M_{max}}{a_3 - a_2} \cdot \alpha, \quad C = \sqrt{\frac{M_{max}}{J(a_3 - a_2)}}$$

$$\alpha(t) = (a_2 - a_2) \cdot (1 - cosCt) + \dot{\alpha_4} \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{max}}} \cdot sinCt$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{max}}} \cdot \arcsin \frac{a_3 - a_2}{\sqrt{(a_3 - a_2)^2 + \dot{\alpha_4} \frac{J(a_3 - a_2)}{M_{max}}}} = 0{,}001974 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha_5} = (a_3 - a_2) \cdot C \cdot \sin Ct + \dot{\alpha_4} \cdot C \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{max}}} \cdot \cos Ct = 44{,}186 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Общее время прохождения двигателем отрезка равного 90° составило 1,271 с. Конечная скорость развитая данным двигателем равна $44{,}186 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Пуск двигателя производился из положения с максимальным моментом(M_{max}).

Наличие экспериментальных и аналитических данных дает нам возможность проводить дальнейшие исследования данного двигателя. При сравнении графиков зависимости угла поворота с течением времени, полученных по этим данным, можно заметить, что в графике, полученном на основе экспериментальных данных, угол с течением времени изменяется медленнее, чем в графике, полученном на основе аналитических данных. Это обусловлено тем, что при расчете аналитических данных не учитывались моменты сопротивлений, влияющих на работу двигателя.

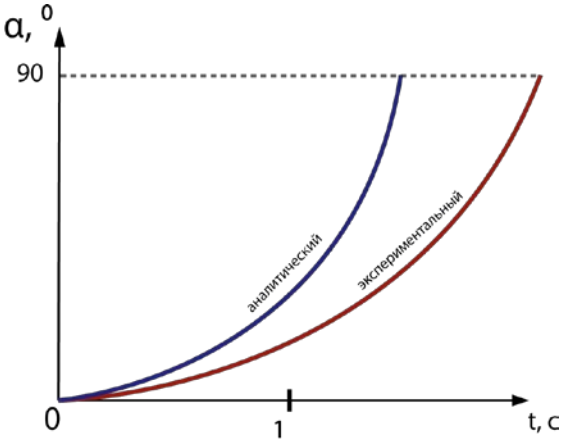


Рисунок 3. Графики зависимости изменения угла поворота с течением времени (аналитический и экспериментальный)

В будущем стоит задача расчета приведенных выше уравнений с учетом моментов сопротивления и максимальному приближению аналитических данных к данным полученным экспериментальным путем.

Одним из путей возможного применения данного двигателя предполагается использование его как двигателя маховика. Работа двигателя в импульсном режиме позволяет включать его на короткие промежутки времени. Зная его характеристики, появится возможность управлять углом поворота по средствам включения его на определенные промежутки времени или подаче токов разной силы[3].

Литература

1. Р.Э. Кодермятов, И.Н. Самодуров Экспериментальное определение характеристик двигателя с ленточной намоткой статора. // На данном сборнике.
2. В.М., Мартемьянов, А.Г. Иванова. Р.Э. Кодермятов Исполнительные двигатели с ленточной намоткой // Вестник Науки Сибири 2013. Номер 1 (7)
3. Моментный двигатель: Патент РФ №2441310. МПК H02K 26/00 /В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова. Заявлено 10.08.2010; Опубликовано 27.01.12 Бюллетень №3 6с.

КОМПЕНСАЦИЯ И ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КРУТИЗНУ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Селиванов Н.А.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nickita@sibmail.com

Датчики угловых перемещений – относятся к индукционным элементам в автоматических устройствах и, в частности в авиационных. Широкое применение индукционных элементов обусловлено разнообразием функциональных свойств, а также высокой надежностью и точностью при малогабаритных конструкциях.

Цель работы: экспериментальным методом оценить влияние шунтов и экранов в конструкции ротора датчика на крутизну характеристики выходного напряжения.

Задачи:

- экспериментальным методом получить характеристики выходного напряжения датчика;
- экспериментальным методом получить характеристики выходного напряжения датчика с установленными в конструкции ротора шунтами;
- экспериментальным методом получить характеристики выходного напряжения датчика с установленными в конструкции ротора экранами (короткозамкнутыми витками);
- оценить влияние шунтов и экранов в конструкции ротора датчика на крутизну характеристики выходного напряжения.

Жесткость требований обусловлена необходимостью повышения точности датчика и одновременно уменьшение габаритных размеров. Это связанно, в первую очередь, с широким использованием датчиков на подвижных объектах, где уменьшение габаритов и массы оборудования позволяет увеличить общий коэффициент полезного действия объекта и объем формируемой информации [1].

Одним из основных требований, предъявляемых к датчикам, является минимальная погрешность характеристики выходного напряжения, определяемая разбросом характеристик используемых материалов и технологическими погрешностями при изготовлении [2].

Принцип действия индукционного датчика заключается в изменении потокосцепления между спаренными обмотками возбуждения и рабочими обмотками. Индукционная связь между этими обмотками, а следовательно, и выходное напряжение, зависит от положения ротора, оно достигает максимума, когда ось пакета ротора повернута на 45^{O}, и минимально, когда ось пакета ротора совпадает с осью одной из обмоток [3].

К оцениваемым показателям относятся следующие параметры датчика:

- средняя крутизна выходной характеристики датчика, 1/град, определяется по выражению:

$$K = \frac{\Sigma Y_{1i}}{\Sigma \alpha_i},$$

где Y_i - текущее значение выходной характеристики канала; α_i - текущее значение перемещения вала, град;

- нелинейность выходной характеристики датчика, %, определяется по выражению

$$n = \frac{\left(Y_i / K\right) - \alpha_i}{\alpha_{макс}} 100,$$

где Y_i – текущее значение выходной характеристики;
K – крутизна выходной характеристики, 1/град;
α_i – угол поворота вала в точке измерения, град;
$\alpha_{макс}$ – максимальное измеряемое угловое перемещение вала (80º) [3].

Параметры и расчеты, полученные в ходе эксперимента, без использования шунтов и экранов в роторе датчика приведены в табл. 1. Параметры и расчеты с использованием экранов в роторе датчика приведены в табл. 2., а с использованием шунтов приведены в табл. 3.

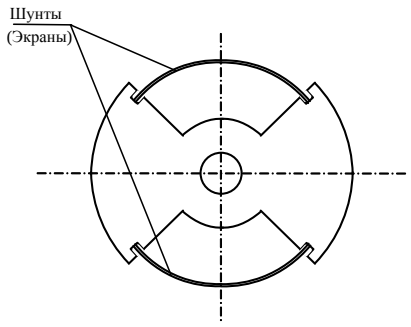


Рис. 1. Схема расположения шунтов и экранов в роторе.

Для компенсации технологических погрешностей на крутизну характеристики выходного напряжения между полюсами ротора на всю ширину пазов через изолирующие прокладки размещены ферромагнитные шунты и экраны (рис. 1). Шунт изготавливается в виде сплошной пластинки из магнитомягкого материала, а экран изготавливается в виде короткозамкнутого витка из немагнитного материала. Глубина подстройки

определяется величиной воздушного зазора над шунтами и суммарным сечением шунтов.

Рабочие характеристики датчика, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис. 2.

Таблица 1. Параметры датчика.

α	Y	K	n	$U_{1.1}$	$U_{2.1}$
град	о.е.	1/град	%	В	В
-40	0,566504	0,01414	-0,181	1,0602	3,8312
-35	0,496601		-0,131	1,2331	3,6660
-30	0,425203		-0,089	1,4092	3,4941
-25	0,353861		-0,072	1,5854	3,3219
-20	0,282590		-0,068	1,7616	3,1494
-15	0,211518		-0,051	1,9373	2,9767
-10	0,140805		-0,049	2,1116	2,8037
-5	0,070215		-0,023	2,2849	2,6300
5	0,070381		0,028	2,6303	2,2844
10	0,140945		0,04	2,8037	2,1110
15	0,211602		0,044	2,9763	1,9367
20	0,282615		0,056	3,1485	1,7610
25	0,353733		0,061	3,3203	1,5851
30	0,424689		0,062	3,4912	1,4098
35	0,495384		0,075	3,6610	1,2354
40	0,563665		0,17	3,8223	1,0666

Таблица 2. Параметры при установки экранов.

α	Y	K	n	$U_{1.1}$	$U_{2.1}$
град	о.е.	1/град	%	В	В
-40	0,569984	0,01421	-0,119	1,0501	3,8339
-35	0,499693		-0,109	1,2239	3,6687
-30	0,427696		-0,108	1,4016	3,4965
-25	0,355795		-0,075	1,5793	3,3238
-20	0,284119		-0,067	1,7567	3,1511
-15	0,212631		-0,053	1,9337	2,9781
-10	0,141561		-0,052	2,1091	2,8047
-5	0,070596		-0,042	2,2835	2,6304
5	0,070582		0,044	2,6301	2,2833
10	0,141479		0,06	2,8041	2,1090
15	0,212511		0,064	2,9772	1,9336
20	0,283915		0,075	3,1497	1,7567
25	0,355409		0,081	3,3217	1,5797
30	0,426885		0,096	3,4928	1,4029
35	0,498037		0,123	3,6627	1,2273
40	0,566755		0,165	3,8239	1,0574

Таблица 3. Параметры при установки шунтов.

α	Y	K	n	$U_{1.1}$	$U_{2.1}$
град	о.е.	1/град	%	В	В
-40	0,564151	0,01408	-0,157	1,0660	3,8256
-35	0,494693		-0,126	1,2378	3,6614
-30	0,423514		-0,102	1,4134	3,4901
-25	0,352420		-0,073	1,5890	3,3185
-20	0,281453		-0,062	1,7645	3,1468
-15	0,210622		-0,05	1,9397	2,9748
-10	0,140201		-0,052	2,1133	2,8025
-5	0,069943		-0,04	2,2858	2,6296
5	0,069949		0,04	2,6294	2,2856
10	0,140201		0,052	2,8021	2,1130
15	0,210551		0,056	2,9739	1,9394
20	0,281274		0,062	3,1454	1,7644
25	0,352087		0,074	3,3164	1,5892
30	0,422847		0,083	3,4869	1,4144
35	0,493271		0,095	3,6559	1,2406
40	0,561260		0,169	3,8165	1,0725

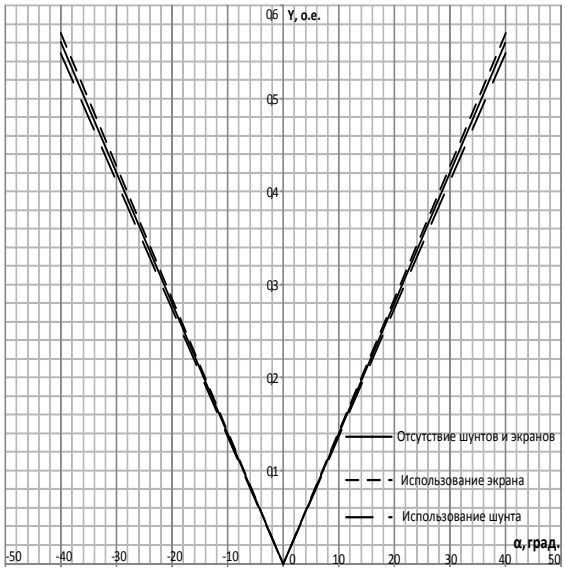


Рис. 2. Влияние шунтов и экранов на рабочую характеристику датчика.

Выводы:

- при использовании экрана в конструкции ротора датчика крутизна и характеристика выходного напряжения увеличивается, а при использовании шунта, крутизна характеристики выходного напряжения уменьшается;
- использование шунтов и экранов практически не влияет на нелинейность датчика
- величина изменения крутизны определяется сопротивлением экранов и площадью шунтов;
- использование шунтов дает возможность регулировать выходные характеристики датчика в пределах 0,5%, а использование экранов 0,4%, что немало важно для датчика, используемого в составе летательного аппарата;
- данные полученные в ходе эксперимента будут учтены в дальнейшем построении математической модели датчика.

Список литературы

1) Пульер Ю.В. Индукционные электромеханические элементы вычислительных и дистанционно-следящих систем. – М.: Машиностроение, 1964. – 156 с.

2) Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филиппов В.И. Снижение эксплуатационных погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. трудов НПЦ ”Полюс”. – Томск, 1997 – С. 250-211.

3) Селиванов Н.А. Исследование выходных характеристик двухканального индукционного датчика угловых перемещений // Современная техника и технологии: Сб. трудов XIX Международной научно-практической конференции ТПУ. – Томск, 2013. Т1, – С. 345-346.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ANSYS

Серов А.Б.
Научный руководитель: Цукублин А.Б., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sabtpu@gmail.com

С повышением требований к качеству разработки и производства электрических машин и аппаратов (ЭМА), а так же снижению производственных затрат, широкое распространение получают программные комплексы, позволяющие оптимизировать процессы методов расчета электромагнитных полей. Одним из вариантов методик расчета магнитных систем, входящих в состав электрических машин и аппаратов, является применение метода конечных элементов (МКЭ) для моделирования электромагнитного поля. [1]. Целью настоящей статьи является оценка возможностей электромагнитных расчетов с помощью программного продукта ANSYS. Выбор данного продукта обусловлен его популярностью и широкими возможностями. В статье рассмотрен инструмент ANSYS Maxwell со встроенным программным комплексом RMxprt.

ANSYS Maxwell — программное обеспечение (ПО) для моделирования 2D и 3D электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения. ANSYS Maxwell базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method — FEM) и рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах [2].

RMxprt — программа, которая ускоряет процесс проектирования и оптимизации вращающихся электрических машин. Особенностью RMxprt является использование классической аналитической теории электрических машин и метода эквивалентных магнитных цепей для вычисления рабочих характеристик машины [3]. Наибольший интерес для проектировчиков RMxprt представляет при моделировании электрических машин классических конструкций, для которых методики расчета известны.

Также для проектирования электрических двигателей и генераторов, есть возможность совместного использования ANSYS Maxwell с программным комплексом RMxprt, основанным на шаблонах моделей электрических машин.

Выбор использования программного решения зависит от поставленных задач, в частности, если задачей является процесс разработки электрической машины стандартной конфигурации, то используя RMxprt, можно проанализировать множество вариантов за короткий промежуток времени и получить необходимые характеристики электрической машины с использованием входных данных.

Для вычисления рабочих характеристик машины используются известные методики расчета классических электрических машин, следовательно, решение такого рода задач требует меньше времени в сравнении с МКЭ, поэтому нет необходимости в использовании высокопроизводительных электронных вычислительных машин (ЭВМ).

В работе был рассмотрен вентильный двигатель, применяемый в электроусилителе рулевого управления (ЭУР). Выбор данной электрической машины обусловлен сложностью такого рода устройств. Для создания основного магнитного потока используются высококоэрцитивные постоянные магниты, применяются инверторные схемы питания и т.д.

При работе с программным комплексом RMxprt, пользователю необходимо корректно заполнить:

- Исходные номинальные данные.
- Основные геометрические размеры ротора и статора.
- Геометрические размеры пазов статора, магнитов ротора. Выбор варианта расположения магнитов на роторе.
- Линейные и нелинейные свойства материалов.
- Конфигурацию обмотки и её лобовых частей.

Программный комплекс RMxprt позволяет получить в табличном и графическом видах все важнейшие характеристики и параметры электрической машины. Некоторые из них:

- Потребляемая мощность.
- Номинальное скольжение, вращающий момент, скорость.
- Кратность пускового тока и момента.
- Данные по активным и реактивным сопротивлениям обмоток.
- Ток в обмотке статора.
- Данные по частоте вращения, величине питающего напряжения.

Первоначальным этапом работы являлся ввод основных геометрических размеров статора и ротора, размеров тангенциально намагниченных магнитов ротора и выбор их варианта расположения. Результат представлен на Рис. 1.

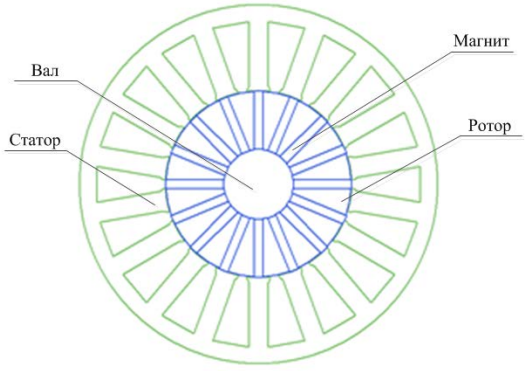


Рис. 1. Модель магнитоэлектрического двигателя в среде RMxprt

Затем была определена конфигурация обмоток. Осуществлен ввод данных о частоте вращения, величине питающего напряжения.

Результатом решения задачи стал расчет основных характеристик вентильного двигателя ЭУР. На Рис. 2. Представлены графики фазных напряжений и токов.

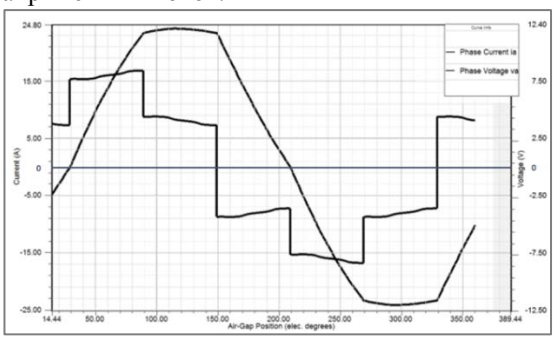


Рис. 2. Графики напряжения и тока одной из фаз вентильного двигателя ЭУР в среде RMxprt

С использованием RMXprt выполнено поисковое моделирование, определена оптимальная геометрия и основные конструктивные размеры вентильного двигателя ЭУР. Получены основные характеристики машины. Однако для комплексного проектирования системы (моделирование электромагнитных полей ЭМА, возможность подключения внешней схемы питания и т.д.), функционала RMXprt недостаточно. Позволяет решать такого рода задачи совместное использование программных комплексов ANSYS Maxwell 2D и RMxprt. Для этого, в модели RMxprt предварительно рассчитываются характеристики машины, определяются её начальные размеры. При окончании поискового моделирования в RMXprt, осуществляется импорт модели в среду ANSYS Maxwell 2D, последний автоматически создаёт геометрию машины, указывает свойства материалов, которые были выбраны в RMxprt, назначает намагниченность магнитов, конфигурирует обмотки, задаёт граничные условия периодичности.

Решение задачи типа Transient (переходные процессы) для модели вентильного двигателя ЭУР в среде Maxwell 2D, представлено на Рис. 3. и 4.

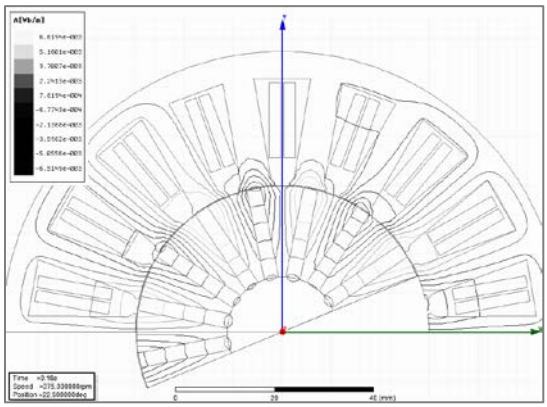


Рис. 3. Картина магнитного поля вентильного двигателя ЭУР в среде Maxwell 2D

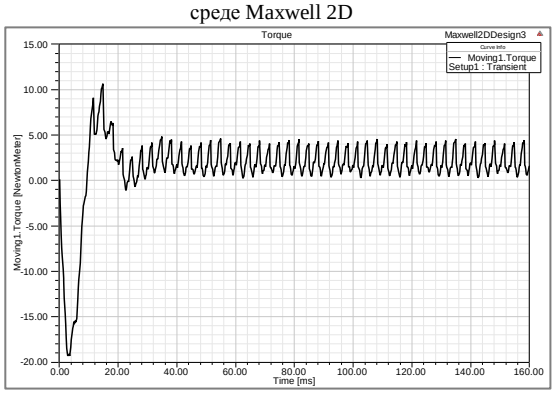


Рис. 4. График электромагнитного момента вентильного двигателя ЭУР в среде Maxwell 2D

Совместное использование программ, за счёт автоматических действий ANSYS Maxwell 2D (создание геометрии, конфигурация обмоток и др.), позволяет экономить время. Стоит отметить, что анализ переходных процессов требует высокопроизводительных ЭВМ.

Использование инструмента RMXprt в связке с программным комплексом Maxwell 2D позволяет полностью оценить работу комплексной системы ЭУР, что предоставляет следующие возможности:

- вычисление момента, реактивного и активного сопротивлений;
- представление графиков, матричными таблицами, картинами полей в виде распределения силовых линий, векторов;
- возможность использования анимации при выводе результатов.

Список литературы:

1. Клявлин А.В. ANSYS, Inc.: современные методы моделирования электромагнитного поля / А.В. Клявлин // САПР и графика. – 2011. – №6. – С.52-55.
2. Maxwell. Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cae-expert.ru/product/maxwell.html
3. RMxprt. Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cae-expert.ru/product/rmxprt.html

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОЗИЦИИ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО - ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА

Симон Д.А.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: simo_da@mail.ru

В последние годы индукционные бесконтактные датчики типа ЛДТ (за рубежом LVDT) – линейные дифференциальные трансформаторы используются все чаще вследствие простоты, высокой точности, удобства монтажа и сравнительно небольших габаритов. Условия применения вызывают существенные отличия в их конструкции и схеме построения.

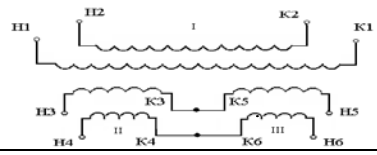
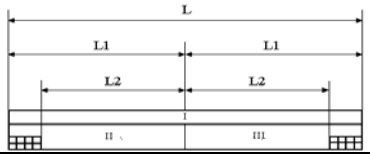
Наиболее сложным звеном датчиков типа ЛДТ (или LVDT) является катушка, содержащая обмотки первичных и вторичных цепей. Простота конструктивного исполнения других узлов и деталей, в основном изготавливаемых из металлов, их небольшое общее число, свободное поступательное перемещение подвижной части (сердечника) дают основание считать безотказность обмоток определяющей в надежной работе датчика.

Целью данной работы является исследование влияния транспозиции обмоток датчика типа ЛДТ на рабочий ход ± 5мм с дублированием обмоток на выходные характеристики.

Транспозицией для данных типов датчиков, принято считать изменение расположения всех проводов в ряде мест, равномерно распределенных в осевом направлении обмотки, при числе мест не меньше числа параллельных проводов. Другими словами транспозиция уменьшает влияние разности между положением витков на выходные характеристики.

Принципиальная электрическая схема датчика типа ЛДТ с дублированными обмотками приведена на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная электрическая схема

Назначение		Катушка датчика типа ЛДТ-510Д	
Схема обмотки			
Схема расположения обмоток, секций, ступеней			
Данные обмоток			
Обмотки секции		I	II, III
Данные по ступеням обмоток II, III	Ступень	Длина ступени	Количество рядов в ступени
	L	34±0,1	-
	L1	16,5±0,05	2
	L2	13,5±0,05	1

Сведения обмотки с учетом транспозиции:

1. Последовательность намотки обмоток: II, III, I.

2. Все обмотки мотать виток к витку двойным проводом. Направление намотки у всех обмоток одинаковое.

3. Обмотки II, III мотать с транспозицией через 1 ряд:

- один ряд ступени L2 к средней щечки каркаса;
- один ряд ступени L1 от средней щечки до края каркаса.

Оставшиеся витки распределить по всей длине третьего ряда ступени L1 в соответствии с табл. 2. Нарушение рядов около средней щечки и ступеней каркаса на длине не более 0,5 мм заполнить витками последнего ряда каждой ступени.

4. Обмотку I мотать от щечки до щечки 3 ряда с транспозицией через 1 ряд, оставшиеся витки распределить в 4 ряду в соответствии с табл. 1. Нарушение рядов около щечек на длине не более 0,5 мм заполнить витками последнего ряда.

Исходя из этих сведений, составляем табл. 1 и 2 шагов распределения и числа витков обмотки.

Таблица 1. Шаг распределения и число витков обмотки I.

Число витков в полных 3 рядах ступени L1 обмотки I	Шаг распределения витков последнего ряда обмотки I, мм
399 - 401	0,259 - 0,263
402 - 404	0,266 - 0,270
405 - 407	0,272 - 0,276
408 - 410	0,279 - 0,283
411 - 413	0,286 - 0,290
414 - 416	0,293 - 0,298
417 - 419	0,301 - 0,306
420 - 422	0,309 - 0,315
423 - 425	0,317 - 0,324
426 - 428	0,327 - 0,333
429 - 431	0,337 - 0,343
432 - 434	0,347 - 0,354
436 - 438	0,361 - 0,369
439 - 441	0,374 - 0,382
443 - 445	0,391 - 0,400
450 - 452	0,425 - 0,436

Таблица 2. Шаг распределения и число витков обмотки II и III.

Число витков в полных 2 рядах ступеней L1 + L2 обмоток II и III	Шаг распределения витков последнего ряда обмоток II и III, мм
136-137	0,100-0,103
138-139	0,104-0,106
140-141	0,107-0,108
142-143	0,110-0,111
143-144	0,113-0,115
145-146	0,116-0,118
147-148	0,119-0,121

149-150	0,123-0,125
151-152	0,127-0,129
153-154	0,131-0,133
155-156	0,135-0,137
157-158	0,140-0,142
159-160	0,145-0,147

Далее проводим экспериментальные снятия параметров датчика, которые записываем в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Параметры первого канала датчика.

X1	Вых.х.	К, мм$^{-1}$	n, %	U1, В	U2, В
-5,0	0,267814	0,053563	0,220	0,8128	1,4074
-4,0	0,214047	0,053512	0,138	0,8807	1,3604
-3,0	0,160556	0,053519	0,107	0,9479	1,3105
-2,0	0,107286	0,053643	0,118	1,0139	1,2576
-1,0	0,053823	0,053823	0,093	1,0785	1,2012
1,0	0,053351	0,053351	0,004	1,2024	1,0806
2,0	0,107223	0,053611	0,106	1,2593	1,0154
3,0	0,158954	0,052985	-0,193	1,3124	0,9524
4,0	0,211814	0,052953	-0,281	1,3622	0,8860
5,0	0,264982	0,052996	-0,311	1,4090	0,8187

Таблица 4. Параметры второго канала датчика.

X2	Вых.х	К, мм$^{-1}$	n, %	U1, В	U2, В
-5,0	0,268224	0,053645	0,306	0,8111	1,4057
-4,0	0,214334	0,053583	0,199	0,8792	1,3589
-3,0	0,160839	0,053613	0,166	0,9467	1,3096
-2,0	0,107391	0,053696	0,141	1,0132	1,2570
-1,0	0,053781	0,053781	0,087	1,0785	1,2011
1,0	0,053600	0,053600	0,053	1,2030	1,0806
2,0	0,106321	0,053161	-0,059	1,2601	1,0179
3,0	0,158940	0,052980	-0,191	1,3136	0,9533
4,0	0,211553	0,052888	-0,323	1,3633	0,8872
5,0	0,264574	0,052915	-0,379	1,4100	0,8200

На рис. 2 приведена выходная характеристика и зависимости напряжения на вторичных обмотках образца от перемещения сердечника.

$$\gamma_1 = \frac{U_{1(1)} - U_{2(1)}}{U_{1(1)} + U_{2(1)}}; \quad \gamma_2 = \frac{U_{1(2)} - U_{2(2)}}{U_{1(2)} + U_{2(2)}}$$

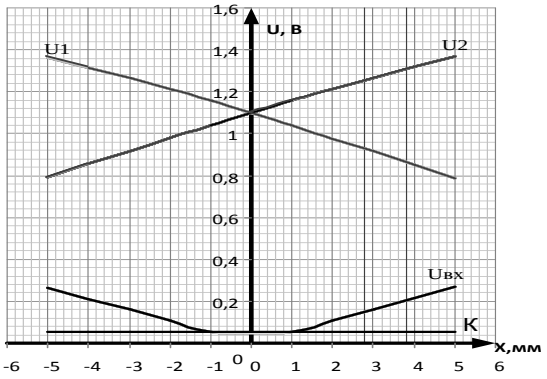


Рис. 2. Выходная характеристика и зависимости напряжения на вторичных обмотках образца от перемещения сердечника.

Практические значения нелинейности, полученные на образце, приведены на рис. 3.

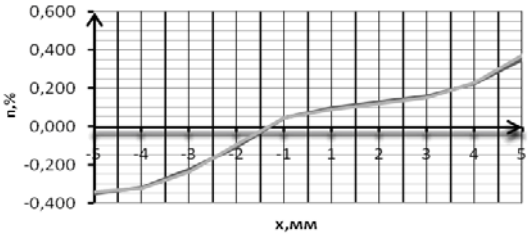


Рис. 3. Нелинейность выходной характеристики.

Нелинейности выходной характеристики, %, определялась по формуле:

$$n = \frac{\left(\gamma_i \Big/ K\right) - x_i}{x_{\max}};$$

где γ_i – текущее значение выходной характеристики;

К – крутизна выходной характеристики, мм$^{-1}$;

x_i – текущее значение перемещения подвижной части, мм;

x_{max} – максимальное перемещение подвижной части.

Крутизна выходной характеристики определялась по формуле:

$$K = \frac{\Sigma \gamma_{1i}}{\Sigma x_i};$$

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы об использовании транспозиции в датчиках типа ЛДТ:

1. Предлагаемый вариант намотки с использованием транспозиции позволяет существенно снизить расхождение геометрических нулей, что непосредственно влияет на выходную характеристику датчика. У данного образца геометрические нули составили 1,142В, что привело к низкому расхождению нулей равному 0,002мм (max 0,038мм).
2. Нелинейность датчика также изменилась и стала вдвое меньше, чем была до применения транспозиции. Среднее значение нелинейности исходя из экспериментальных данных составило 0,22% (max 0,42%)

Литература

1. Малогабаритный двухканальный датчик типа ЛДТ. / Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Новиков М.И. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. XVIII науч.-техн. конф. НПЦ "Полюс". Томск, 2011. С. 341 – 347.

2. Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филиппов В.И. Двухканальные датчики типа ЛДТ на одном магнитопроводе. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука,2007.С.305–311.

3. Иоффе А. Б. Тяговые электрические машины. // Госэнергоиздат: М. Л., 1957.С.89-105.

МЕТОДОЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОЛЬЦЕВОЙ ОБМОТКОЙ ЯКОРЯ

Смирнов А.В.
Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Art@sibmail.com

Традиционно, при создании вентиляционного оборудования для судового транспорта, применялась конструкция, состоящая из корпуса вентилятора и отдельно вынесенного электродвигателя. Несущей деталью в данной конструкции являлся корпус электродвигателя, что вызывало необходимость в дополнительных мерах для снижения различного рода виброшумовых возмущений конструкции в целом.

Применение комплексного подхода к решению задачи снижения шумов и вибраций, при котором привод вентилятора и сам вентилятор рассматривались и рассчитывались, как одна система позволил добиться высоких результатов. При этом главной особенностью такой системы была разработка и применение специального уплощенного исполнительного асинхронного электродвигателя, который помещался внутрь спиральной полости вентилятора и закреплялся на торцевой стенке несущего корпуса. [1, 2]

В основе работы по созданию вентильных двигателей с минимальной осевой длиной, пониженным уровнем шума и вибрации и повышенной прочностью, для вентиляторов, применяемых на судовом транспорте, лежит идея усовершенствования существующего класса судовых вентиляторов, путем замены асинхронного исполнительного двигателя на вентильный двигатель.

Вентильные двигатели с возбуждением от высокоэнергетических постоянных магнитов на сегодняшний день являются наиболее перспективными из всех типов электродвигателей, применяемых в современных регулируемых электроприводах малой и средней мощности. Это объясняется рядом известных конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ, среди которых нужно отметить повышенный ресурс и надежность.

Настоящая работа имеет целью определить область причин возникновения виброшумовой активности в разрабатываемой электрической машине, а также классифицировать их по величине в общей картине создаваемого шума и указать возможные пути по снижению данной активности.

При исследовании методов снижения шума и вибрации вентильных двигателей с кольцевой обмоткой якоря предлагается придерживаться следующей последовательности:

1. Представление модели обладающей свойствами будущего изделия;
2. Определение применяемости и условий эксплуатации;
3. Определение проблемных зон;
4. Проведение расчетов и сопоставление их с результатами испытаний.

За аналог была принята синхронная электрическая машина с возбуждением от постоянных магнитов, коммутация фаз в которой осуществляется с помощью полупроводникового коммутатора.

Применение изделия – электропривод вентиляторов для судового транспорта.

Определение проблемных зон (причины возникновения шумов и вибраций). Для этого выделим три природы возникновения шума:

1) магнитный шум – является наиболее интенсивным, имеет сложную структуру и разнородную природу возникновения. Проблему магнитного шума следует решать на стадии проектирования электродвигателя. В связи с этим, изначально была определена область задач, которые будут включены в расчет электродвигателя. В таблице в левой колонке приведен перечень источников магнитного шума, а в правой описанные в литературе, применяющиеся на практике и предлагаемые способы его снижения;

2) вентиляционный (аэродинамический) шум - в рамках данной статьи рассматриваться не будет, т.к. основной вклад в вентиляционный шум в нашем случае вносит непосредственно сам вентилятор, в котором устанавливается электрическая машина.

3) механический шум - возникает из-за вибрации отдельных частей машины вследствие неудовлетворительной балансировки вращающихся частей и сочлененных с ее валом элементов, трения в подшипниках. Механический шум снижается при производстве за счет сужения допусков, повышения культуры производства, увеличения точности изготовления, тщательной балансировки якоря, подбором смазки для подшипников, применением осевого натяга с помощью пружинных шайб и т.д.

Таблица 1. Источники шума и вибрации магнитного происхождения

Источник	Способ устранения
Радиальные силы, вызванные основным магнитным полем	Увеличение числа зубцов [3]

Продолжение таблицы 1

Высшие гармонические поля (зубцовые, обмоточные)	Применение обмотки кольцевого типа
Электромагнитные силы, возникающие в результате изменения магнитной проводимости воздушного зазора	Выполнение зубцов статора со скосом. Отношение числа пазов якоря к числу полюсов не должно быть равно целому числу. [3]
Явления магнитострикции	Компаундирование обмотки статора, уменьшение толщины листов из которых набирается статор и ротор
Деформация ротора под действием односторонних сил магнитного притяжения	Симметричное расположение магнитов на роторе, подбор магнитов с минимальным разбросом магнитных характеристик, увеличение воздушного зазора.[3]
Нестабильность напряжения питания (дискретный характер коммутации, за счет применения полупроводникового коммутатора)	Применение датчиков аналогового типа
Неравномерность распределения обмотки в пазах; неравномерность воздушного зазора; отклонение поверхности статора и ротора от правильной геометрической формы; неравномерная толщина клея под магнитами; эксцентриситет воздушного зазора; смещение статора относительно ротора	Усовершенствование точности изготовления, повышение квалификации персонала занятого изготовлением и сборкой и разработка специализированной оснастки

Дополнительные мероприятия, способствующие снижению шума и вибрации:

- пространство между корпусом и пакетом заполняется вибропоглощающим компаундом [6];
- увеличение массы за счет увеличения ярма, при использовании обмотки кольцевого типа несколько увеличивается масса меди, что в незначительной степени также уменьшает виброактивность;
- применение звукопоглощающих материалов, увеличение жесткости элементов конструкции [3];
- оптимизация спектра собственных частот для исключения возможности появления резонанса [3].

Для количественной оценки уровня и природы вибраций в готовой электрической машине предлагается использовать ее общий уровень вибрации, который рассчитывается по формуле:

$$L_{общ} = \sum_{i=1}^{n} 10 \log\left(10^{0.1 L_i}\right), \qquad [4]$$

где L_i – уровень вибрации на i-й среднегеометрической частоте 1/3-октавного фильтра;

n – число 1/3-октавных полос.

В заключение подведем итоги. При решении проблемы шума и вибрации, необходим, прежде всего, комплексный подход, учитывающий все источники возмущений конечного изделия в целом. Основное внимание при проведении дальнейших расчетов следует уделить магнитным источникам шума и вибрации, как наиболее интенсивным.

Список литературы

1. Гейнц Э.Р., Братковский О.А., Цехместрюк Г.С., Подлевский Н.И. Судовое электрооборудование нового поколения // Электронные и электромеханические системы и устройства: тезисы докл. XVII науч.-техн. конф.(Томск, 20-21 апреля 2006 г.). – Томск: ФГУП «НПЦ «Полюс», 2006. С. 101-106.

2. Подлевский Н.И., Хитрук Б.С., Филимонов А.В., Сергин Е.А. Особенности разработки центробежных электровентиляторов с комбинированным спиральным корпусом // Электронные и электромеханические системы и устройства: тезисы докл. XVII науч.-техн. конф.(Томск, 20-21 апреля 2006 г.). – Томск: ФГУП «НПЦ «Полюс», 2006. 106-108.

3. Воронкин В.А., Геча В.Я., Городецкий Э.А., Евланов В.В., А.Б. Захаренко, Зубренков Б.И., Каплин А.И., Ледовской В.И., Склярова И.В., Смирнова Л.П., Шапиро М.Х. Вопросы электромеханики // Методы проектирования малошумных электрических машин: труды «НПП ВНИИЭМ» том 103 Москва – 2006.

4. Тимошенко В.А., Михайлов А.Г., Дерюшев А.Ю. Виброшумовые характеристики асинхронных электродвигателей с кольцевой обмоткой // Электронные и электромеханические системы и устройства: сб. науч. Тр. НПЦ «Полюс». Томск: Изд-во НТЛ, 2011. С. 235-240.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПЛАСТИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Стахеева О.Ю.
Научный руководитель: Иванова А.Г., аспирант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: olechka_15@sibmail.com

Настоящая работа представляет собой продолжение исследований, проводимых по изучению характеристик моментного двигателя с ленточной намоткой статора. Ранее были получены зависимости момента от взаимного положения пластинчатого элемента намотки и источника поля – постоянного магнита, показаны возможности получения заданной функциональной зависимости «момент – угол поворота ротора» [1-4]. В итоге, момент исследуемого двигателя зависит от его геометрических параметров, величины индукции поля, силы тока, протекающего по намотке, а также характера распределения последнего по пластинчатому элементу намотки. В зависимости от характера распределения тока меняется величина двойного интеграла, входящего в выражение для усилия, создаваемого пластинчатым элементом [4]

$$D = \iint j_y(x, y) \cdot dx \cdot dy . \qquad (1)$$

Была поставлена задача определить, как влияет размер электрода пластины и относительная длина последней на величину упомянутого интеграла и, соответственно, на величину развиваемого усилия. Дело в том, что при неизменном значении приложенного к отдельной пластине напряжения, в случае изменения размера электрода, будут происходить как изменения величины активного сопротивления пластины (а, следовательно, и тока), так и изменения характера траекторий распределенного тока, вызывающие изменение их поперечных компонент, которые являются основными при создании усилия. Последнее замечание подтверждается приведенными ниже иллюстрированными материалами.

Аналитические исследования проводились численным методом с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics. Были введены понятия $\beta = \frac{b_k}{b}$ - относительная ширина контакта (электрода) и относительная длина пластины $\alpha = \frac{a}{b}$. В данном случае b – ширина пластины, a – ее длина, b_k – ширина контакта. При исследовании принималось, что ширина алюминиевой пластины (ленты) b = 0,05 м, ее толщина $\Delta = 10^{-4}$ м. Для оценки влияния длины контакта на расчетное значение тока левый контакт имел бесконечно малую длину, а правый, на границе которого определялась величина тока, выбирался соизмеримым с длиной пластины (~0,5b). Источник постоянный магнит, шириной c = 0,02 м располагается в центре пластины (рис.1).

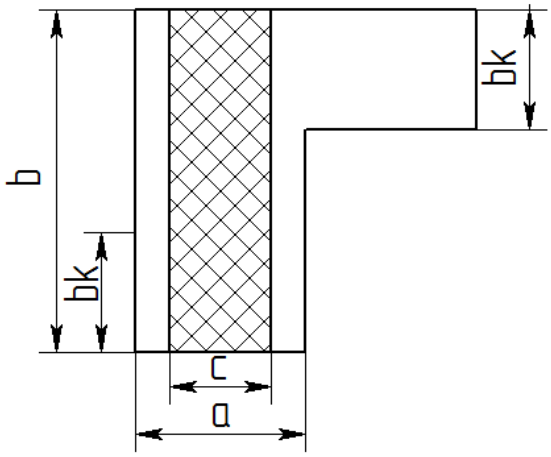
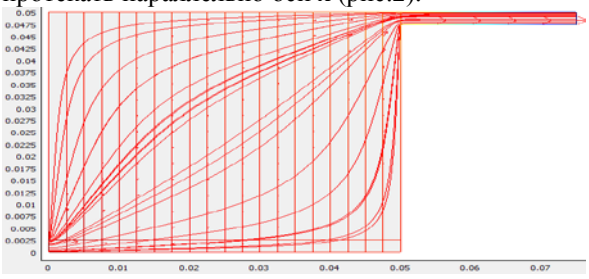
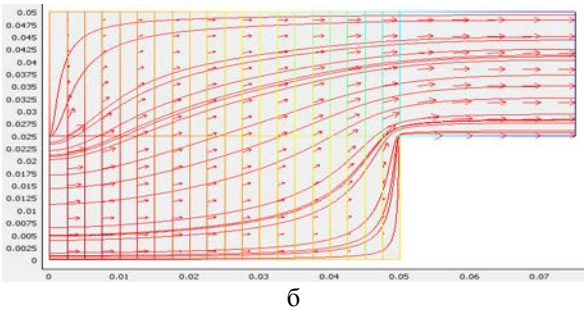


Рис.1. Параметры пластины

Относительная ширина электрода берется равная β= 0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,5. Значение больше 0,5 приведет к тому, что часть тока будет протекать параллельно оси x, вертикальной составляющей тока не будет, и полезный эффект уменьшается. Если β=1, то весь ток будет протекать параллельно оси x (рис.2).



а



б

Рис.2. Ток, протекающий по пластине:
а – при β= 0,05; b – при β= 0,5

Для определения тока, протекающего по пластине, задается фиксированная величина потенциала U=0,01В.

Изменяя относительную ширину электрода и длину пластины, получим характеристики тока, протекающего по пластине и двойного интеграла (рис. 3, 4, 5).

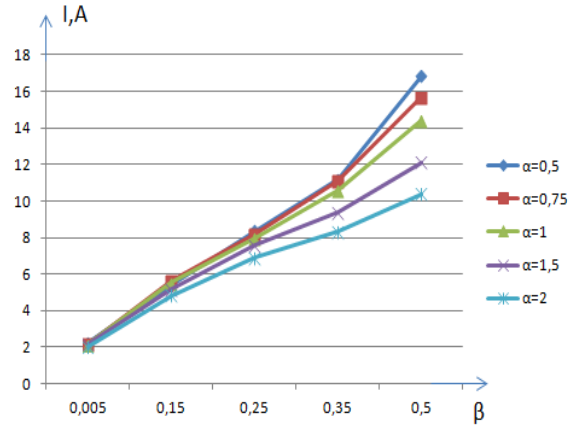


Рис.3. График зависимости тока от относительной ширины электрода

Таким образом, чем больше относительная ширина электрода, тем меньше сопротивление пластины и соответственно больше ток.

Двойной интеграл D определяем при фиксированном токе I = 10 А.

При большей относительной ширине электрода, вертикальные составляющие тока уменьшаются, следовательно, величина двойного интеграла будет уменьшаться и при значении электрода, равном ширине пластины, двойной интеграл будет равен нулю (рис.4).

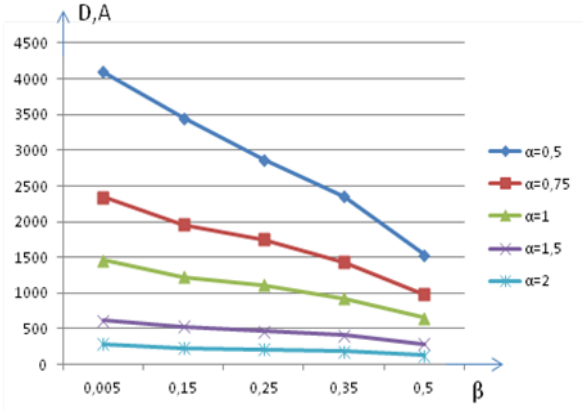


Рис.4. График зависимости величины двойного интеграла от относительной ширины электрода

Усилие определяется по формуле:

$$F_x = \frac{B \cdot \Delta}{I_0} \cdot I(\beta) \cdot D_y(x, y, I_0, \beta), \qquad (2)$$

где

B =0,2 Тл - величина индукции, выбранная для численного анализа;

I_0 =10 А - начальное значение тока;

I(β)- зависимость тока от относительной ширины электрода, А;

$D_y(x, y, I_0, \beta)$ - зависимость двойного интеграла от относительной ширины электрода, А.

Учитывая выражение (2), получаем значения усилия единичной пластины (рис.5).

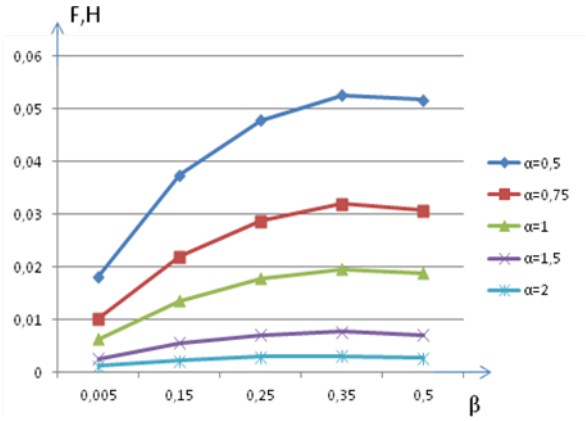


Рис.5. График зависимости усилия от относительной ширины электрода

Из данного графика следует, что максимальное значение усилия соответствует β=0,02, т.е. величина электрода равна 0,01 м.

Полученные зависимости, отображенные на рис. 3,4,5, позволяют создать основу для дальнейших аналитических исследований моментного двигателя.

Литература:

1. К.А. Татарникова, О.Ю. Екимова. Влияние геометрии пластин на вид силовой характеристики двигателя //Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах. Томск: изд-во ТПУ, 2012.

2. К.А. Зыль, О.Ю. Екимова. Влияние геометрии пластины на электрические параметры двигателя // Наука. Технологии. Инновации: сборник всероссийской научной конференции молодых ученых в 7 частях . Новосибирск: изд-во НГТУ, 2012.

3. О.Ю.Екимова, К.А. Зыль. Влияние геометрии пластины на вид силовой характеристики двигателей с пакетным элементом //Космическое приборостроение: сборник научных трудов Форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение» / НИТПУ. − Томск: Изд-во ТПУ, 2013.

4. А.Г. Иванова, В.М. Мартемьянов, И.В. Плотникова. Влияние геометрии пластины на силовую характеристику двигателя с активным пакетным элементом // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. №4.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ С РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Трусов Е.В.
Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: jordan1987@sibmail.com

Модернизация электрооборудования вентиляционных установок, предназначенных для перемещения и регулирования подачи воздуха по воздуховодам в системах кондиционирования помещений [1], обусловливает совершенствование системы управления электроприводом воздушной дроссельной заслонки (ДЗ). Основное назначение ДЗ состоит в регулировании подачи воздуха по вентиляционному каналу за счет изменения угла перекрытия трубопровода. Для этого наиболее часто применяется шаговый электропривод (ШЭП), обеспечивающий ее установку в одно из положений: закрыто, открыто и любое промежуточное. Максимальное время поворота из одного крайнего положения (0°) в другое (90°) составляет не более 3 с. Время поворота ДЗ на 1˚ можно определить следующим образом:

$$\tau = \frac{T}{\alpha_m} = \frac{3}{90} = 0,033\,\text{с},$$

где T – время полного цикла работы ДЗ; α_m – максимальный угол ее установки.

Согласно функциональной блок-схеме ШЭП ДЗ (рис. 1) БМ, является основными узлом и включает в себя шаговый электродвигатель, редуктор, муфту, ДЗ

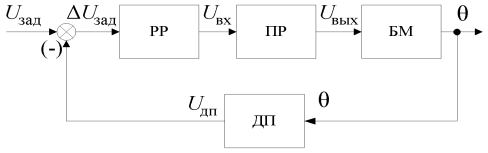


Рис. 1. Блок-схема механической части ШЭП: РР – регулятор релейного типа; ПР – преобразователь; БМ – блок электромеханики; ДП – датчик положения дросселя

В момент, когда необходимо повернуть ДЗ на определенный угол, на вход РР, который представляет собой операционный усилитель, работающий в режиме компаратора, поступает напряжение $\Delta U_{зад}$, равное разности между задающим напряжением $U_{зад}$ и напряжением обратной связи $U_{ДП}$. Включение шагового электродвигателя происходит, когда напряжение $U_{зад}$ становится больше напряжения порогового уровня $U_{оп}$, определяемого временем поворота τ (рис. 2).

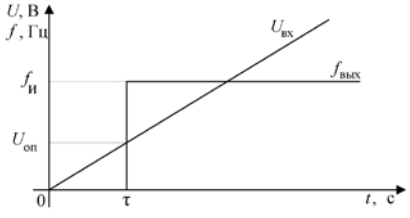


Рис. 2. Диаграмма зависимости частоты и напряжения от времени

Использование РР позволяет ограничить входной сигнал таким образом, что при включении системы управления напряжение $U_{вх}$ достигает установившегося значения без перерегулирования и с постоянной скоростью, что позволяет повысить точность угла поворота и получить значительно большее быстродействие по сравнению с пропорциональным регулированием, так как входное воздействие на привод поддерживается все время максимальным.

ПР преобразует напряжение $U_{вх}$ в напряжение $U_{вых}$ определенной частоты импульсов $f_и$=$f_{вых}$=25 Гц для питания шагового электродвигателя (рис.2).

При изменении угла поворота ДЗ от 0° до 90° постоянная составляющая сигнала на выходе ДП, выполненного на основе поворотного трансформатора, меняется от нуля до 9 В. Следовательно, коэффициент передачи датчика

$$k_1 = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{U_{ДП}}{\alpha_m} = \frac{9}{90} = 0,1,$$

где $U_{вых}$=$U_{ДП}$ – максимальное выходное напряжение ДП.

Переменное напряжение $U_{ДП}$ с выхода ДП поступает на выпрямитель с фильтром высокочастотных пульсаций (рис. 3), выделяющий постоянную составляющую сигнала.

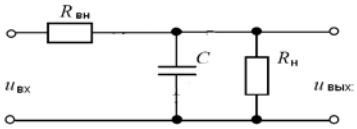


Рис. 3. Схема замещения выпрямителя с фильтром высокочастотных пульсаций: C – сглаживающий конденсатор; $R_{вн}$ – статическое внутреннее сопротивление выпрямителя; $R_н$ – сопротивление нагрузки; $u_{вх}$ – входное переменное напряжение выпрямителя; $u_{вых}$ – выходное постоянное напряжение выпрямителя

Передаточная функция ДП имеет вид

$$W_{ДП} = k_1 W_1(s) = k_1 \frac{K_{ДП}}{T_{ДП}s+1} = \frac{0,064}{0,0242s+1},$$

где $K_{ДП}$ – коэффициент передачи фильтра; $T_{ДП}$ – постоянная времени фильтра.

Передаточную функцию, описывающую поведение РР на основе функции Хэвисайда, можно представить в операторной форме:

$$W_{ПР} = k_y e^{-\tau s} = 90e^{-0,33s},$$

где k_y – коэффициент усиления преобразователя; s – оператор Лапласа.

Передаточную функцию БМ полученную на основе уравнения движения ШЭП и уравнений напряжения в фазах шагового двигателя, можно записать следующим образом:

$$W_{БМ} = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{r}{L_p}\omega_c^2 + \omega_c^2 s}{s^3 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J}\right)s^2 + \left(\frac{r}{L_p}\frac{D}{J} + \omega_c^2(1+k_p)\right)s + \frac{r}{L_p}\omega_c^2},$$

где ω_c – собственная частота колебаний; k_p – константа двигателя; D – коэффициент вязкого трения; r – активное сопротивление обмотки статора; L_p – разность между индуктивностью фазы статора и взаимоиндуктивностью; J – приведенный момент инерции ШЭП.

Принцип релейного регулирования в статическом режиме можно исследовать с помощью имитационной модели ШЭП ДЗ, составленной в программной среде MATLAB (рис. 4).

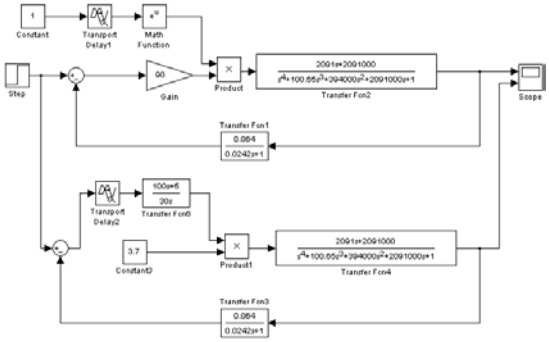


Рис. 4. Имитационная модель для исследования статического режима работы ШЭП

В ходе моделирования приняты следующие допущения:

- ток считается постоянной величиной;
- характер нагрузки – инерционный.

Результаты моделирования ШЭП ДЗ при максимальном напряжении рассогласования U=5.6 В приведены на рис. 5, 6. Основные показатели качества: время начала t_1 и время окончания t_2 переходного процесса, характеризующие быстродействие, перерегулирование σ, статическая ошибка $\Delta\theta_{уст}$, запас по амплитуде ΔL и запас по фазе $\Delta\varphi$ сведены в табл. 1. Из временных характеристик (рис. 6) можно также определить показатели колебательности переходного процесса: декремент колебания $\chi = A_1 / A_2$ и декремент затухания $\zeta = (A_1 - A_3)/A_1$, где A_1, A_2, A_3 – значения смежных полупериодов.

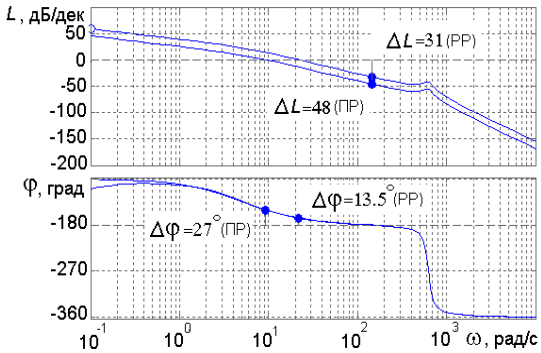


Рис. 5. Логарифмическая амплитудная и частотная характеристики разомкнутой следящей системы

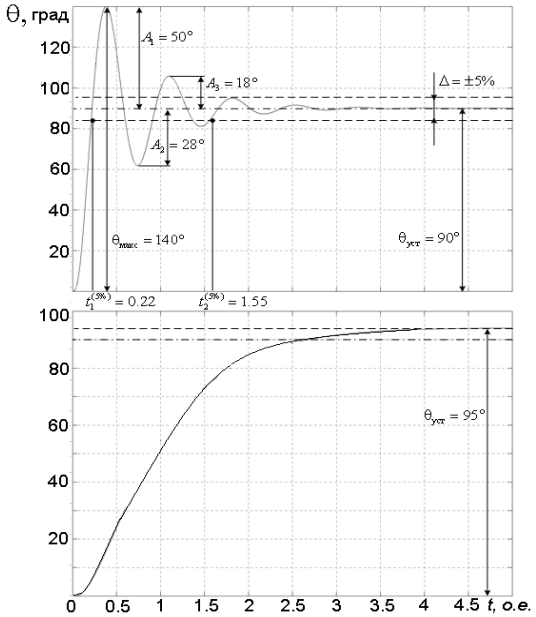


Рис. 6. Временные характеристики замкнутой следящей системы

Таблица 1

Тип Регулятора	показатели качества							
	t_1, с	t_2, с	σ, %	$\Delta\theta_{уст}$, %	ΔL	Δφ	χ	ζ
РР	0,22	1,55	55	0	48	27	0	0
ПР	2,5	4	0	5	31	13.5	1.76	0.6

Таким образом, применение релейного регулирования обеспечивает более высокое быстродействие и позволяет убрать статическую ошибку при наличии запасов устойчивости по фазе и амплитуде, что является определяющим фактором с точки зрения эффективности работы ШЭП ДЗ. Однако в такой системе присутствуют колебания и значительное перерегулирование, что не соответствует требуемым (идеализированным) параметрам работы следящей системы ШЭП. Исходя из этого, необходимо провести оптимизацию данных параметров с использованием корректирующей обратной связи.

Литература

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М. : Физматгиз, 1959. – 915 с.
2. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод : учебное пособие. – Томск : Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.
3. Основы проектирования и расчета следящих систем / Смирнова В.И. [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 295 с
4. Анализ передаточной функции шагового электропривода дроссельной заслонки / Е. В. Трусов [и др.] // Электронные и электромеханические системы и устройства : тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов (Томск, 14–15 фев. 2013г.) / ОАО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2013 – с. 91– 92.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРОЛЛЕЙБУСА МАРКИ АКСМ-321

Черепенников О.В.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: cherepesp@mail.ru

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. [1]

В данном случае объектом является троллейбус марки АКСМ – 321, который широко применяется во многих городах России.

В Томском городском унитарном муниципальном предприятие «Трамвайно-Троллейбусное управление» (ТГУ МП «ТТУ») троллейбусы этой марки появились в 2010 г. [2] Эксплуатация показала что машины имеют ряд конструктивных изъянов, которые приводят к отказам. Основную долю отказов составляет неисправности тягового электродвигателя (ТЭД).

На троллейбусах марки АКСМ – 321 установлен асинхронный двигатель марки ДТА-1У1, мощностью 180кВт.

Использовались данные по отказам двигателей в период с 2012 года по 2013 года

Суммарное количество отказов за данный период равняется 43.

Данные об отказах приведены в таблице

Таблица. Отказы основных элементов ТЭД

Причина отказа	Количество отказов
Неисправность подшипников	30
Неисправность обмотки статора	9
Неисправность ротора	4
Всего	43

Определим статистическую вероятность отказов за весь период по формуле (1)

$$P^* = \frac{m}{n}, \qquad (1)$$

где m-число отказов узла n- общее число отказов.

Статическая вероятность отказов подшипников:

$$P^*_{П} = \frac{m}{n} = \frac{30}{43} = 0.697.$$

Статическая вероятность отказов обмотки статора:

$$P^*_{ОС} = \frac{m}{n} = \frac{9}{43} = 0.209.$$

Статическая вероятность отказов из-за неисправностей ротора:

$$P^*_{Р} = \frac{m}{n} = \frac{4}{43} = 0.093.$$

На рис. 1 представлена гистограмма вероятностей отказов двигателей.

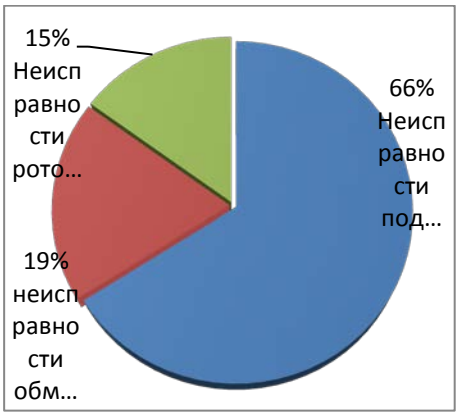


Рис. 1. Отказы основных узлов тягового электродвигателя ДТА 1У1

При анализе надежности технических устройств важным является статистическая обработка данных об отказах, произошедших в процессе эксплуатации. При этом решаются следующие задачи: определяют вид функции плотности распределения отказов, вычисляют параметры полученного распределения, помощью критериев согласия устанавливают степень совпадения экспериментального распределения с предлагаемым теоретическим распределением.

Определим числовые характеристики, закон распределения случайной величины, найдем среднюю наработку на отказ и соответствующее среднеквадратичное отклонение.

Количество случайных чисел (наработок на отказ) n = 43. Максимальный член ряда s_{max} = 25346 км. Минимальный член ряда s_{min} =573 км.

Строим гистограмму наработки на отказ (рис. 2)

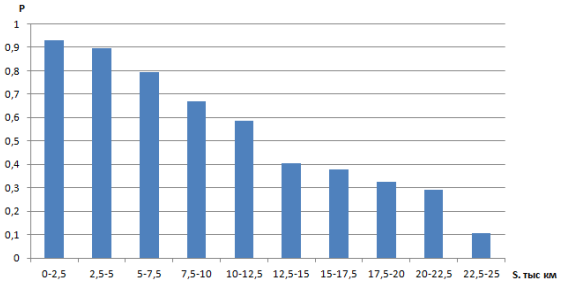


Рис. 2 Гистограмма наработки на отказ ТЭД

Исходя из характера гистограммы, можно предположить, что исследуемая величина распределена по экспоненциальному закону.

Средняя наработка до отказа T_{CP} - математическое ожидание до первого отказа. Для определения T_{CP} необходимо знать время безотказной работы всех испытуемых изделий. Если не все машины отказали, зная количество отказавших изделий n в каждом i-м интервале, то:

$$T_{CP} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m} n_i \cdot s_{CPi}, \qquad (2)$$

где m – число интервалов длительностью s_{CPi}

Исходя из формулы (2) $T_{CP} = 14157 км$

Дифференциальная функция предполагаемого распределения имеет вид:

$$f(x) = 0,00007 \cdot e^{-0,00007x}$$

Используя таблицы функции e^{-x} из справочной литературы [1], рассчитаем значения плотности для значений середин каждого интервала. По этим значениям строится аппроксимирующая кривая, которая представлена на рис. 4.

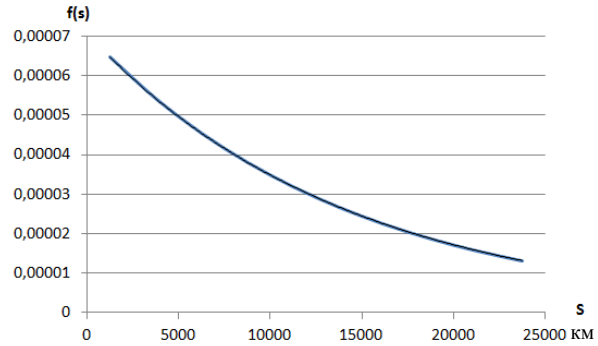


Рис. 3 Аппроксимирующая кривая наработки на отказ

Исходя из характера полученной кривой, можно предположить, что исследуемая величина распределена по экспоненциальному закону. Экспоненциальный закон надёжности справедлив для описания внезапных отказов, когда изделие не успевает ещё износиться. Дальнейшие исследования состоят в проверке совпадения эмпирической кривой распределения, которая осуществляется по критерию Пирсона. Сложив все значения критерия Пирсона для каждого из интервалов, получим искомое $\chi^2 = 1.28$. Распределение критерия Пирсона χ^2 зависит от числа степеней свободы r. В справочной литературе, [1] для доверительной вероятности Q=0,99 и числа степеней свободы r = 8 находим значение $\chi^2 = 20,1$. Рассчитанное значение $\chi^2 = 19,92 < 20,1$, следовательно, гипотеза экспоненциальном распределении отказов принимается.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что для повышения надежности рекомендуется заменить элементы двигателя более надежными, либо повысить качество ремонта восстанавливаемых деталей.

Список литературы:

1. Кузнецов Н.Л.. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов.- М.: Изд Дом МЭИ, 2006. - 432 с.
2. Сайт ТГУ МП ТТУ www.ttu.tomsk.ru/company.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS SIMATIC

Шадрин А.В.
Научный руководитель: Колесниченко Д.А., ст. преподаватель
Вологодский государственный университет, 160000, Россия, г. Вологда, ул. Ленина, 15
E-mail: Alexeys2008@mail.ru

Анализ мирового опыта создания нового и модернизации действующего технологического оборудования показывает высокую динамику развития автоматизированного электропривода. Она обусловлена стремлением к максимальному повышению производительности оборудования и качества выпускаемой продукции [1]. Еще одним преимуществом автоматизированного электропривода является его способность существенно экономить электроэнергию. А так как электропривод является главным потребителем электрической энергии и в развитых странах на его долю приходится свыше 60% всей потребляемой электроэнергии, представляется экономически целесообразным автоматизировать существующие и проектируемые установки электроприводов с целью адаптации и усовершенствования алгоритмов управления, что позволит повысить их энергоэффективность [2]. Автоматика, при таком подходе, окупается за год, или даже быстрее. В дополнении к этому, автоматизированный электропривод имеет ряд существенных преимуществ:

- улучшенные потребительские качества;
- регулирование скорости, интенсивностей разгонов и торможений, позволяет упростить, то есть удешевить механическую часть, задавать щадящие режимы для всей механики, снизить пусковые и рабочие токи, продлить жизнь механической и электрической частей;
- возможность и целесообразность делать распределенную систему управления электроприводом;
- интеграция электроприводов в сеть с сервером сбора и анализа данных с возможностью удаленного доступа.

На сегодняшний день основными средствами автоматизации являются персональные компьютеры, промышленные компьютеры, промышленные контроллеры и программируемые логические контроллеры. Возможность их программирования обеспечивает их широкое внедрение и универсальность применения. ПЛК (программируемый логический контроллер) характеризуются оригинальной архитектурой и специальным проблемно-ориентированным программным обеспечением, которые направлены на достижение максимально возможной надежности при эксплуатации в промышленных условиях [3].

Исходя из этого, можно сделать вывод, что изучение принципов функционирования и свойств автоматизированного электропривода является на сегодняшний день весьма актуальной задачей при подготовке студентов электроэнергетического факультета технического университета.

Целью работы являлась разработка стенда на базе промышленного контроллера для изучения принципов работы и исследования энергетических характеристик автоматизированного электропривода, который будет использоваться в учебном процессе для выполнения лабораторных работ

В качестве управляющего контроллера выбран промышленный контроллер SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU224XP. Использование данного контроллера обусловлено тем, что фирма SIEMENS является одним из лидеров в производстве подобного рода оборудования, а их контроллеры SIMATIC S7 являются современными промышленными контроллерами и нашли широкое применение в системах автоматизации. Данные контроллеры имеют модульную конструкцию и являются идеальным средством для построения эффективных систем автоматического управления при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы [4].

Модуль вывода SIEMENS EM 232 обеспечивает поддержку двух дополнительных аналоговых выходов.

Коммуникационный процессор SIEMENS CP 243-1 используется для подключения контроллера к персональному компьютеру по сети Ethernet. При помощи данного модуля можно удаленно конфигурировать, программировать и диагностировать контроллер.

Нагрузочным аппаратом для электродвигателей выбран электромагнитный порошковый тормоз MEROBEL FVRAT 350. Основное преимущество электромагнитных порошковых тормозов - возможность плавно и в широких пределах регулировать нагрузочный момент, а также относительная простота эксплуатации.

Для измерения напряжений и токов в силовых цепях организована система датчиков, а для оцифровки сигналов с датчиков и их передачи в персональный компьютер выбран модуль системы сбора данных L-Card E14-140M.

Схема силовой и управляющей частей стенда представлена на рисунке 1.

Все оборудование (за исключением электродвигателей и тормоза) размещено в лабораторной стойке. Электродвигатели и нагрузочный аппарат закреплены на едином металлическом основании, а их валы соединены при помощи муфт.

Разработка программы для контроллера осуществлялась в среде STEP7 Micro/WIN. Программа написана на языке релейно-контакторных схем, который является интуитивно понятным и на сегодняшний день наиболее часто применяемым языком при программировании контроллеров.

В результате работы разработан и успешно испытан стенд для исследования автоматизированного электропривода постоянного и переменного тока на базе промышленного контроллера SIEMENS SIMATIC.

Применение разработанного стенда в лабораторном практикуме позволяет повысить уровень подготовки студентов и предоставляет им возможность практически ознакомиться с принципами действия и управления современным автоматизированным электроприводом, изучить его свойства и приобрести навыки в составлении программ для управляющего контроллера.

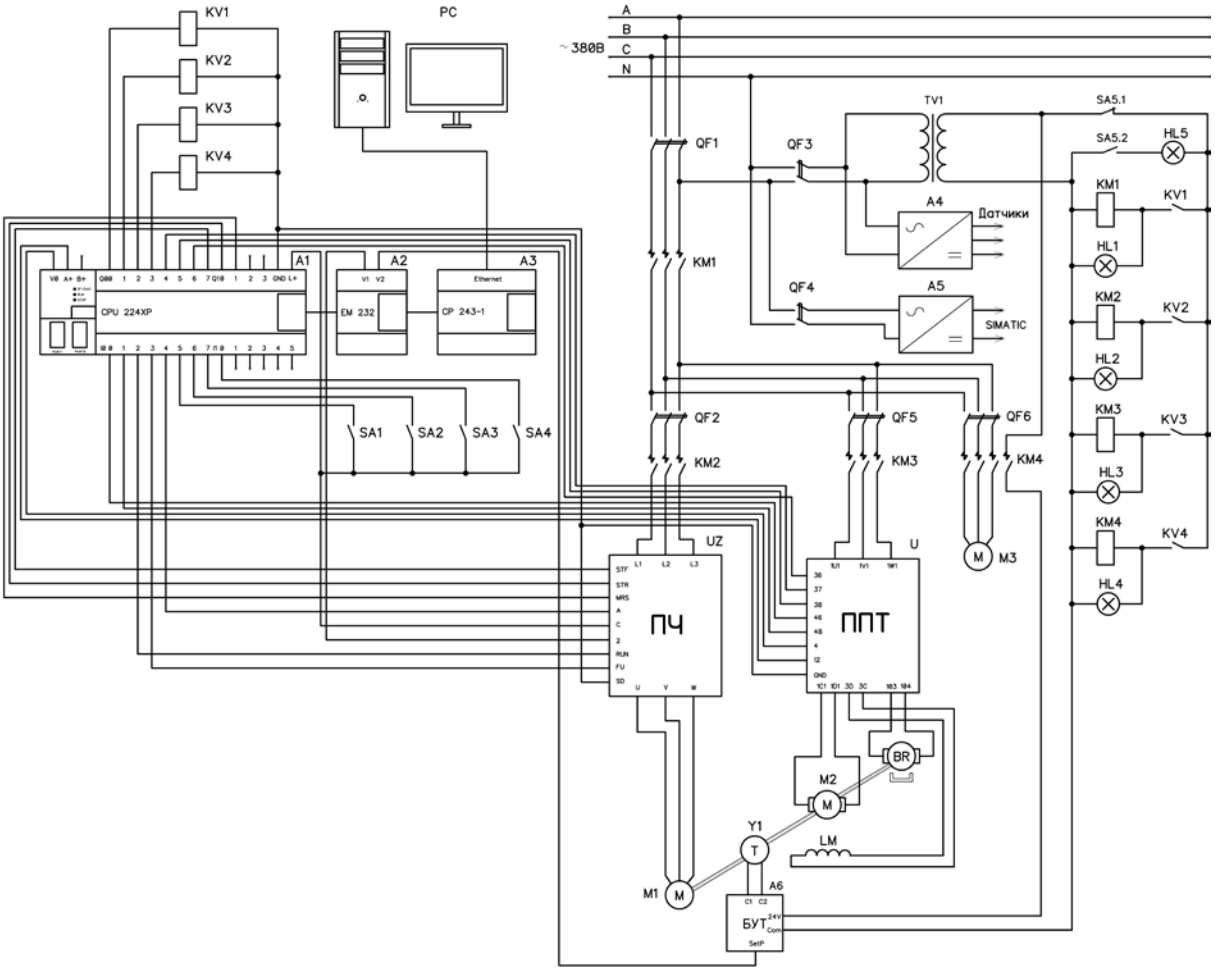


Рисунок 1 - Схема силовой и управляющей частей стенда
ПЧ - преобразователь частоты; ППТ - преобразователь постоянного тока;
БУТ - блок управления тормоза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - 3-е изд., испр. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 576 с.
2. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Москаленко. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 368 с.
3. Водовозов А.М. Системы автоматизации и управления/ Конспект лекций. - Вологда, ВоГТУ, 2007 г. - 295 с.
4. SIEMENS [Электронный ресурс]: офиц. сайт. - Режим доступа: http://www.iadt.siemens.ru.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛИФТОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

Высокий уровень надежности лифта на начальном этапе эксплуатации еще не гарантирует его высокой эффективности в процессе всей эксплуатации. В связи с этим огромную важность приобретает проведение различных мероприятий для своевременного предупреждения и оперативного устранения возможных отказов и неисправностей, то есть применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта, позволяющей повысить уровень надежности элементов лифта на всех этапах его эксплуатации.

Известно, что одними из наиболее дорогостоящих элементов лифтов, достаточно часто выходящих из строя, являются асинхронные электродвигатели (АД) лебедки. Также отказы АД влекут за собой обычно длительные простои лифтов, хотя затраты времени и средств на восстановительные работы связаны не столько со сложностью ремонта АД, сколько с их массой.

Цель настоящей работы состоит в выборе наиболее эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей для лифтов.

Под стратегией технического обслуживания и ремонта (ТОиР) понимают совокупность принятых принципов, правил и управляющих воздействий, влияющих на эксплуатационные свойства объектов. Широкое распространение в практике эксплуатации получили следующие стратегии ТОиР: календарная, по потребности, по наработке и комбинированная [1].

Каждая из указанных стратегий имеет определенную организацию ТОиР, а также определяет периодичность замены отдельных деталей и узлов.

Календарная стратегия ТОиР предусматривает, что все осмотры объектов проводятся через определенные отрезки времени и не зависят от наработки. Одновременно устанавливается вид и объем работ.

Стратегия ТОиР, реализованная по потребности, заключается в проведении восстановительных мероприятий только после внезапного выхода объектов из строя. Плановые ремонты здесь не предусмотрены. В нашей стране эта стратегия действовала при ремонте элементов лифтов в жилых домах до 1950 г. [2]. Отсутствие в эксплуатационных службах в первую очередь технических средств диагностики, а также информации о сроках службы узлов влекло за собой длительный простой лифтов на ремонте, что привело к отказу от стратегии по потребности, хотя такая стратегия экономически достаточно выгодна.

Использование стратегии ТОиР по наработке предполагает для всех однотипных технических устройств единые объем и периодичность выполнения работ. Определяющее значение в данной стратегии имеет наработка с начала эксплуатации или после определенного вида восстановительного ремонта.

В начале пятидесятых годов прошлого столетия при объединении ТОиР, организованного по календарному принципу, со стратегией ТОиР по наработке была разработана комбинированная стратегия, получившая название системы планово-предупредительного ремонта (ППР). Плановые ремонтные мероприятия осуществлялись на основе теории предположения возможного появления отказов. Такая система применялась при ремонте элементов лифтов в течение нескольких десятков лет.

Система ППР включала в себя две подсистемы: подсистему трехуровневого технического обслуживания и подсистему капитальных ремонтов. Техническое обслуживание состояло из трех наборов работ, отличавшихся объемом, периодами проведения и списком узлов, подлежащих обслуживанию: ТО-1, ТО-2, ТО-3. ТО-1 проводилось один раз в пятнадцать дней, ТО-2 один раз в месяц, но в состав работ ТО-2 входили работы, предусмотренные списком ТО-1. ТО-3 выполнялось один раз в шесть месяцев. В него входили работы по ТО-2. Подсистема капитальных ремонтов состояла из плановых ремонтов разного объема и сложности: малого, среднего и большого.

Система ППР сыграла положительную роль в поддержании лифтов в работоспособном состоянии в течение длительного периода, значительно превышающего расчетные сроки службы. Однако наряду с достоинствами системы ППР она обладает значительным недостатком: неоправданно большим весом плановых капитальных ремонтов, когда уже после первого года работы лифта предписывалось проведение хотя и малого, но капитального ремонта, что экономически не было целесообразным.

Учитывая это в 1990 г. была разработана и принята новая система технических мероприятий под названием «Руководство по текущему обслуживанию лифтов». Капитальный ремонт, предусмотренный ранее системой ППР, не вошел в новую систему плановых технических мероприятий по поддержанию работоспособного состояния лифтов. Согласно этой системе при квартальном текущем ремонте (ТР-3) лифтовых электродвигателей проверяют и, при необходимости, восста-

навливают крепления электродвигателя, полумуфт, соединительных пальцев муфты и клеммных соединений проводов. Полугодовой текущий ремонт (ТР-6) включает в себя работы по перечню квартального текущего ремонта, а также проводится осмотр и проверка заземления корпусов лифтовых АД.

Рассмотренные выше стратегии ТОиР относятся к так называемым «жестким» стратегиям. То есть объем и периодичность обслуживания остаются неизменными, не смотря на информацию о техническом состоянии объекта, полученную при ТОиР.

Более прогрессивной является «гибкая» стратегия ТОиР по текущему состоянию. Для применения данной стратегии необходимым условием является экономическая целесообразность, так как оценка технического состояния объектов может проводиться только при периодическом или непрерывном диагностировании, которые в свою очередь требуют наличия:

- системы сбора информации об эксплуатации объекта или приборной базы, чего не доставало на первоначальном этапе эксплуатации лифтовых АД;
- подготовленного персонала, имеющего навыки по существующим методикам оценивать техническое состояние объектов и прогнозировать его в перспективе.

Стратегия ТОиР по текущему состоянию предусматривает проведение следующих видов работ:

- планового технического обслуживания по мере выработки ресурса;
- текущего ремонта, объем и периодичность которого, меняется в зависимости от информации, поступившей в процессе эксплуатации;
- капитального ремонта, не предусмотренного «Руководством по техническому обслуживанию лифтов», при достижении предельного состояния, то есть при вероятности безотказной работы АД ниже 0,2.

Обработка существующей информации об отказах АД для лифтов [5] позволяет выделить три периода в процессе их эксплуатации (рис. 1): период приработки T_1, период нормальной эксплуатации T_2 и период интенсивного износа T_3.

В период приработки интенсивность отказов лифтовых АД во времени подчиняется закону распределения Вейбула. Имея вначале высокий уровень, она достаточно быстро падает. Это обусловлено отбраковкой АД имеющих какие-либо дефекты и изменением режима их работы.

В период нормальной работы интенсивность отказов приблизительно постоянна и является наиболее низкой на протяжении все эксплуатации. В этом случае имеет место экспоненциальный закон распределения. Отказы происходят из-за аварий на подающих подстанциях, обрывов проводников и многих других случайных событий.

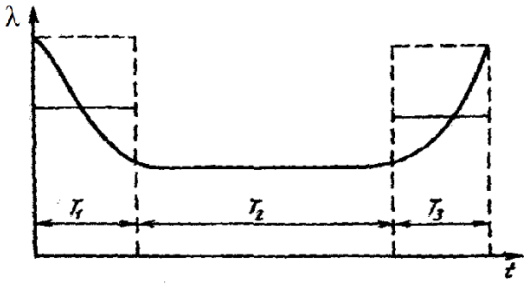


Рис. 1. Кривая интенсивности отказов для трех периодов эксплуатации лифтового АД.

За периодом нормальной работы следует период износа, характеризующийся нормальным распределением отказов. Интенсивность отказов резко возрастает по причине разрушения изоляционных и конструкционных материалов.

Рис. 1 наглядно показывает, что ТОиР лифтовых АД на каждом из периодов эксплуатации необходимо выполнять с различной периодичностью. Также и капитальный ремонт, являющийся лишним на первых двух периодах, нужно признать экономически оправданным в период износа.

Итак, подводя итоги, можно сделать вывод о целесообразности применения стратегии ТОиР по текущему состоянию. Индивидуальный подход к планированию сроков проведения и установлению объемов работ для каждого конкретного двигателя поможет достигнуть повышения надежности при снижении эксплуатационных расходов. И, несмотря на то, что в процессе эксплуатации лифтовых АД происходит необратимый процесс изменения уровня технического состояния его узлов, проведением профилактических мероприятий, заменой стареющих элементов можно добиться того, что установится экспоненциальный закон интенсивности отказов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.: ил.
2. Чутчиков П.И. Ремонт лифтов: Учеб. пособие для сред. проф.-тех. училищ. – М.: Стройиздат, 1983. – 271 с.: ил.
3. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П. Волкова – М.: изд-во АСВ, 1999. – 480 стр. с илл.
4. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник. – М.: Академия, 2003. – 342 с.
5. Шпет Н.А., Муравлев О.П. Исследование отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации // Известия Томского политехнического университета.–2013. – №4 – с. 123-125.

ПРИМЕНЕНИЕ ADVANCED PROCESS CONTROL В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ НЕФТЕДОБЫЧИ

Шустова О.О., Разумова Е.И., Громаков Е.И.
Научный руководитель: Громаков Е.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: olga_shustova92@mail.ru

Крупные российские компании нефтегазовой отрасли рассматривают проекты автоматизации в перспективе их жизненного цикла. Так ОАО «НК «Роснефть» выделяет три этапа развития автоматизации («минимальный»), («базовый») и («перспективный») [1]. Объемы автоматизации в процессе такого развития отражают значительный рост внедрения (использования) систем автоматического регулирования (САР). В результате увеличения объемов САР формируются сложные многоконтурные схемы автоматического регулирования. Особую роль при решении новых задач автоматизации будут играть системы класса *Advanced process control* [2].

Нотация *Advanced process control* (*APC)* относится к методологии с широким набором методов и технологий, применяемых в промышленных системах управления технологическими процессами. Она обычно используется при необходимости и в дополнение к простейшим способам управления, которые закладываются поставщиком оборудования для достижения ими нужной эффективности.

Наиболее известными типами *APC* являются:

- Алгоритмы и структуры, которые относятся к проверенным передовым технологиям управления, таким как *FF/FB, OVERRIDE, Split-range control, Cascade*; *IMC* (*Internal Model Colontrol*); *Предиктор Смита*; *Parallel control; Valve Position Control; Ratio control* и др.[3]. Это класс систем, в которых используют какие-либо заказные непростые методы управления, не попадающие в своей классификации в обычные категории САР.
- Многопеременное управление типа *MIMO* или *Model predictive control (MPC*). Последняя является популярной технологией, которая, как правило, устанавливается на компьютере диспетчерского управления, что позволяет связывать наиболее важные независимые и зависимые переменные процесса и их динамические модели с использованием матричной математики и управлять процессом на основе алгоритмов оптимизации.
- *Inferntial control* – параметрическое управление с использованием косвенных оценок на основе таких легкодоступных и недорогих измерений процесса как температура, давление.
- *Sequential control* – это автоматное управление, которое относится к дискретно-непрерывным схемам автоматизации.

В данной работе рассматривается задача совершенствования подготовки нефти на установке подготовки нефти (УПН) с использованием *APC*-алгоритмов. Одной из важных задач этой установки является экономия энергетических затрат при подготовке нефти заданного объема и заданного ТУ качества в установленные сроки с минимизацией износа регулирующих органов и отложений солей в трубопроводной обвязке. Это можно достигнуть за счет использования алгоритмов, оптимизирующих все составляющие процесса подготовки нефти. Основные объекты управления УПН - насосные станции, сепараторы, подогреватели нефти, отстойники воды.

Сквозным технологическим процессом является поддержание установленного нормативными требованиями давления и расхода в трубопроводной обвязке, эффективное регулирование температуры при сепарации газа (рис. 1).

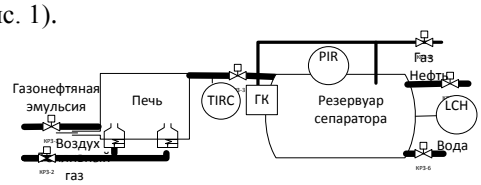


Рис.1 Схема подготовки нефти с минимальным уровнем автоматизации

Оценим эффективность управления сквозным процессом подготовки нефти в части процессов «Управление подачей нефти, печью и сепарацией газа» (рис.2).

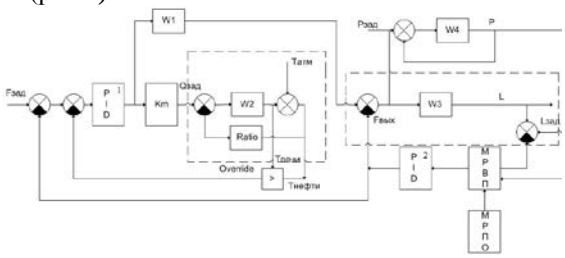


Рис.2. *APC*-схема управления сквозным процессом сепарации

На данной схеме (рис.2) используются следующие обозначения: *PID1* – ПИД-регулятор по расходу; *PID2* - ПИД-регулятор по уровню; K_m _ масштабирующее звено; *W1* – передаточная функция насоса (клапана); *W2* – передаточная функция печи; *W3* – передаточная функция сепаратора (по уровню); *W4* – передаточная функция сепаратора (по давлению); *МРВП* – модель расчета выходного потока; *МРПО* – модель расчета проходного отверстия.

При выборе алгоритмов оценим перспективу применения APC - алгоритмов.

FF-прямая связь позволяет компенсировать воздействие возмущения быстрее, чем *FB*-обратная связь, которая обнаруживает только сам факт ее воздействия в виде ошибки, вызванной разностью между управляемой величиной и управляющим воздействием. Однако это существенно, если точно известно место возникновения и модель обратного оператора. Для распределенной системы, такой как УПН это проблематично. Кроме того такие значимые возмущения как изменения погодных условий, проявляются медленным образом и необходимость их быстрой компенсации в УПН не актуальна.

Достоинством *каскадного управления* является возможность эффективной компенсации возмущения во внутренних контурах САР сквозного процесса. Такое управление позволяет снизить эффекты, связанные с транспортным запаздыванием. Выходную реакцию внутренних контуров можно значительно улучшить с помощью ПИД-регулирования.

Предиктор Смита и Internal Model Control - похожие алгоритмы. Их достоинством является эффективная компенсация транспортного запаздывания, что увеличивает реактивность их действий. Эти схемы особенно перспективны для управления внутренними контурами, имеющими большие транспортные запаздывания.

Возможности *Split-range control* и *Parallel control* также в некоторой степени похожи. Их достоинством является сравнительно высокая точность регулирования в широком диапазоне изменения рабочих точек процесса. Для УПН эта проблема не является актуальной.

Override control и *Selective control* относятся к САР переменной структуры. Их достоинством является возможность «умного выбора» структуры управления в зависимости от складывающейся ситуации с регулируемыми параметрами. В результате достигается повышение устойчивости работы САР при изменении условий технологического процесса.

Таким образом, для решения задачи комплексного управления показателями качества и объемов подготовки нефти УПН возможны различные архитектурные решения САР. Оценим вариант управления процессом подготовки нефти: каскадную схему САР с внутренними и общей внешней обратными связями (рис.2). На схеме показаны основные объекты управления – компоненты УПН: насос, печь и сепаратор. Для обеспечения выполнения условий робастности автоматического управления воспользуемся каскадным управлением с использованием таких структурных решений как *Ratio, Override и Inferential-управление.*

Для обеспечения нужного качества регулирования используются ПИД-алгоритмы управления. Для повышения качества регулирования уровня нефти в сепараторе используются программные модули расчетов выходного потока сепаратора и проходного сечения его входного клапана, предложенные в [5].

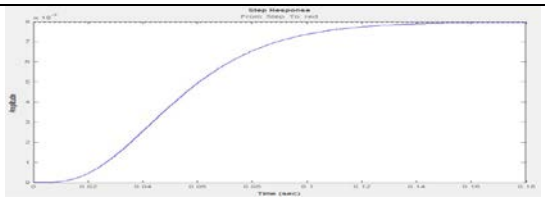


Рис.3. Моделирование процесса сепарации с применением каскадного регулирования переменной структуры

С использованием данной схемы решается задача обеспечения выполнения производственного задания по объему подготовки нефти на УПН в целом (подобно «швейной машинке», обеспечивающей выполнение конкретной задачи пользователя).

Внутренние контуры обеспечивают регулирование потока нефти $F_{вых}$, температур в печи нагрева $T_{печи}$ и нефти в трубопроводе $T_{нефти}$. САР температуры печи отвечает за регулирование температуры в трубопроводе путем изменения подачи газа в горелку.

Анализ результатов, полученных при моделировании этих структур управления показывает следующие достоинства каскадной схемы САР с внутренними и общей внешней обратными связями: возможность формирования безлюдной технологии управления процессом подготовки нефти на УПН; обеспечение высокой робастности процесса подготовки нефти при различных режимах технологического процесса.

Применение каскадного управления позволяет снизить перерегулирование и колебательность в системе, что, снижает износ регулирующих органов и увеличивает срок службы системы, ее безопасность и быстродействие.

Литература

1. ОАО Роснефть, стандарт компании. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам, № П3-04 СД-038, версия 1, М: 2008, 109 с.

2. Carlos A. Smith, Principles and Practice of Automatic Process Control 2 edition John Wiley & Sons, Inc.2006 563 p.

3. B. Roffel, B.H.L. Betlem, “Advanced Practical Process Control” Springer, 2004.

4. Jean Pierre Corriou, “Process Control: Theory and applications” Springer, 2004.

5. Зориктуев В.Ц., Дребская Ю.М., Рощупкин В.В. Синтез математической модели процесса сепарации нефти в системе управления промысловой подготовкой нефти, Вестник УГАТУ Управление ВТ и И Т.13, №2 (35), Уфа: УГАТУ, 2009 78-82 с.

SUPPLY VOLTAGE DISTORTION EFFECT ON OUTPUT VOLTAGE AND INPUT CURRENT OF THE AC CHOPPER FEEDING AN INDUCTION MOTOR

Gorbunov R.L.[1]
Scientific advisor: Poskonnyy G.I., asst. professor[2]
Linguistic advisor: Troitsky O.Y., professor[1]
[1]Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
[2]Novouralsk Technological Institute NRNU MEPhI, 85, Lenin str., Novouralsk, 624130, Russia
E-mail: romangorbunov91@gmail.com

Abstract

The purpose of the work was to investigate the effect of the supply voltage distortion on the main characteristics of the AC chopper, such as quality of the output voltage and the input current, and to conclude whether it is necessary to improve robustness of the system "AC chopper – Induction Motor" to a supply distortion. The research has been done by means of Fourier analysis for a generalized AC chopper with equal time-ratio control technique as the most widely used one. The presented results were verified by mathematical simulation in Mathcad and Matlab. The quality of the output voltage and the input current were assessed by their total harmonic distortion value (THD) and weighted THD value (WTHD). Input current analysis of the chopper feeding an induction motor was performed for a highly inductive load as it is a correct simplified model of the motor at the considered circumstances.

Introduction

AC chopper (Fig. 1) – a power electronic voltage converter based on fully controlled bi-directional semiconductor switches – is a promising direct voltage converter for supplying an induction motor in applications where motor operates with a cyclic load or underloaded for a long time at a constant speed. Besides improving energy efficiency of the induction motor it provides control and protection functions.

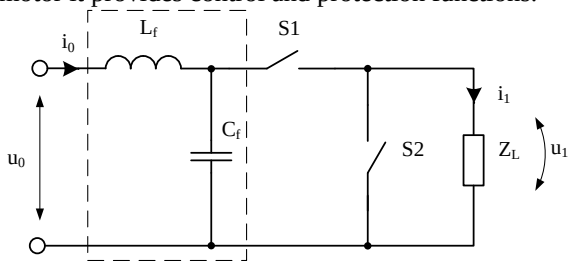


Fig 1. A power circuit of the single-phase AC chopper

The quality of the converter output voltage and its energy characteristics at various control techniques have been presented in many studies [e.g. 1]. However, the analysis has been done for purely sine input voltage, while in a real network the supply voltage can be distorted. It is especially typical for industrial networks where there are many powerful nonlinear energy consumers. Moreover, in some countries, including Russia, energy quality standards are not very strict and permit a relatively high supply voltage distortion [2].

Description

When the input voltage u_0 is purely sine, the output voltage of the converter u_1 (without output filter) comprises harmonics with frequencies (Fig. 2a)

$$f(n) = (n-1)\cdot f_{SW} \pm f_0$$

and magnitudes

$$U_1(n) = U_0 \cdot \chi_1 \frac{\left|\sin((n-1)\cdot\pi\cdot\chi_1)\right|}{(n-1)\cdot\pi\cdot\chi_1},$$

where f_0 – the input (supply) voltage frequency;

$f_{SW} = q\cdot f_0$ – the chopper switching frequency, $q \in N$;

U_0 – the magnitude of input (supply) voltage;

$\chi_1 = t_1/T_{SW}$ – the control time-ratio; $n \in Z$.

Normally for a powerful chopper $q = 20 \div 100$.

The total harmonic distortion of the output voltage

$$THD_{u_1}(\chi_1) = \sqrt{2\sum_{n=2}^{\infty}\left(\frac{\sin((n-1)\cdot\pi\cdot\chi_1)}{(n-1)\cdot\pi\cdot\chi_1}\right)^2}.$$

In this study the supply voltage is a sum of m low-frequency harmonics

$$u_0^d(t) = \sum_{k=1}^{m}\sqrt{2}U_{0(k)}\cos\left(2\pi\cdot k\cdot t - \psi_{0(k)}\right),$$

where k – the number of a harmonic, $k \in N$;

$U_{0(k)}$ – the magnitude of a harmonic k;

$\psi_{0(k)}$ – the phase of a harmonic k.

The THD of the distorted u_0

$$THD_{u_0} = \sqrt{\sum_{k=2}^{m} U_{0(k)}^2} \Big/ U_{0(1)}.$$

When the switching frequency is at least twice higher than the highest frequency of the supply voltage harmonics (which is typical for real systems), there are $2k$ harmonics in the output voltage u_1 for each $n>1$ with frequencies nearby the frequency $(n-1)\cdot f_{SW}$ (Fig. 2c)

$$f(n,k) = (n-1)\cdot f_{SW} \pm k\cdot f_0$$

and magnitudes

$$U_1(n,k) = U_{0(k)}\cdot\frac{\left|\sin((n-1)\cdot\pi\cdot\chi_1)\right|}{(n-1)\cdot\pi}.$$

For n=1 there are k harmonics of the supply voltage (including the fundamental harmonic) with magnitudes proportional to the time-ratio χ_1

$$U_1(1,k) = U_{0(k)}\cdot\chi_1.$$

The output voltage THD for such a case can be expressed in terms of the supply voltage THD

$\left(THD_{u_0}^d\right)$ and the THD of output voltage at zero supply distortion $\left(THD_{u_1}\right)$

$$THD_{u_1}^d = \sqrt{\left(THD_{u_0}^d\right)^2 + \left(1+\left(THD_{u_0}^d\right)^2\right)\cdot\left(THD_{u_1}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(THD_{u_1}\right)^2 + \left(1+\left(THD_{u_1}\right)^2\right)\cdot\left(THD_{u_0}^d\right)^2} .$$

Since the characteristics of an induction motor are more sensitive to low-frequency components of the feeding voltage it is important to consider the weighted THD value, where the magnitude of each harmonic is inversely proportional to its number. For AC chopper it is easy to show that

$$WTHD_{u_0} \approx WTHD_{u_1} .$$

As the load is highly inductive the magnitudes of high-frequency output current harmonics are fully attenuated by the load, while the magnitudes of low-frequency harmonics of the output current are inversely proportional to the corresponding voltage harmonics numbers. The spectrum of the output current contains *m* harmonics of the supply voltage (including the fundamental harmonic) with magnitudes

$$\mathrm{I}_1(1,k) \approx \mathrm{U}_1(1,k)/Z_L \cdot k^{-1},$$

where Z_L – the impedance of the load at the fundamental frequency.

Thus,

$$THD_{i_1} \approx WTHD_{u_0} .$$

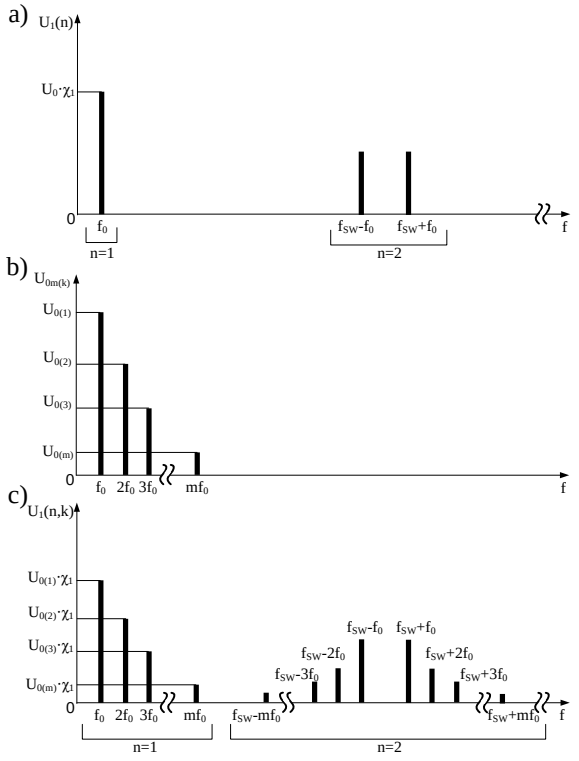


Fig. 2. Spectrum of: a) the output voltage of the chopper at zero supply distortion, b) the distorted supply voltage, c) the output voltage of the chopper at the distorted supply voltage

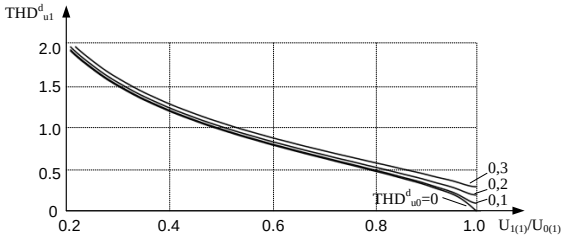


Fig. 3. The THD of the output voltage versus normalized magnitude of its fundamental harmonic at different supply voltage distortion values

In the considered voltage converter the input current is shaped from the output current by the same commutation function as the output voltage from the supply voltage, so the spectrum of the input current is similar to the spectrum of the output voltage, but the normalized magnitudes of higher harmonics are much smaller. Taking into consideration the fact, that high-frequency harmonics of the input current are filtered out by passive high-frequency low-pass filters, it has been shown that the THD of the input current is almost equal to the WTHD of the supply voltage

$$THD_{i_0} \approx WTHD_{u_0} .$$

For a three-phase system the derived relations are true if a distortion is symmetrical and the ratio $q/6$ is integer.

Results

1 The THD of the output voltage is nearly proportional to the THD of the supply voltage (Fig. 3).

2 The phase shift of supply voltage harmonics at $q > 2m$ does not affect magnitudes of output voltage harmonics.

3 For $THD_{u_0}^d = 0{,}012$ (12%), which is the maximum permitted value for Russian networks [2], the THD of the output voltage is only slightly higher than the THD of the output voltage at zero supply distortion.

4 The input current of the converter is less sensitive to the supply voltage distortion than the output voltage and with input high-frequency low-pass filters can be assumed purely sine.

5 The input low-frequency distortion goes directly through the chopper to the load and for operating at high supply distortion it is necessary to develop a special control technique of distortion compensation.

References

1 Arvindan A.N., Prashanthi S. Investigation for Power Quality in a PWM AC Controller Feeding a Three-Phase Three-Wire WYE Connected Load // IPEC–2010. – Singapore, 2010. – P. 648–653.

2 GOST R 54149–2010. [State Standard 54149–2010. Electrical energy. Electromagnetic compatibility of equipment. Rates of electrical energy quality in general purpose electrical supply systems]. Moscow, Standartinform, 2010. 16 p.

СЕКЦИЯ 5

Системы и приборы медицинского назначения

SECTION 5

Medical devices and Installations

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ XECL-ЭКСИЛАМП В ФОТОЛЕЧЕНИИ

Адиева Ю.Р.
Научный руководитель: Пономарев С. В., д.т.н., старший преподователь.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kemili@mail.ru

Дерматозы даже в наше время остаются болезнями, для которых не найден оптимальный вариант лечения. В медицинской практике, к этому вопросу подходят с разных сторон, но наибольшее распространение получили лекарственный метод и метод фотолечения.

В последнем случае, используются различные источники излучения, от обычных инфракрасных ламп, до лазеров. Основное требование, предъявляемое к подобной аппаратуре, заключается в том, чтобы длина волны источника излучения лежала в области 310 nm (так как кожа человека обладает наибольшей пропускающей способностью в данном диапазоне). Одним из таких источников являются эксилампы на смеси ксенона и хлора.

Что такое эксилампа?

Эксилампа - это газоразрядный источник ультрафиолетового излучения. От обычных ультрафиолетовых ламп их отличает то, что спектр излучения эксиламп находится в более узком спектре. Работа данного источника излучения основана на принципе неравновесного излучения эксимерных или эксиплексных молекул. Эксилампы способны излучать длинны волн короче 250 nm, при этом их удельная импульсная мощность равна десятком киловатта на квадратный метр. [2]

Рассмотрим принцип работы эксилампы.

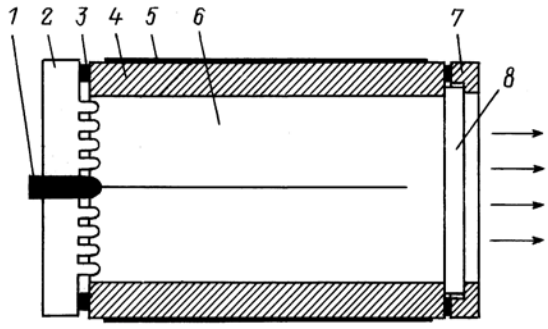


Рис. 1. Устройство импульсной XeCl-лампы: 1 —внутренний электрод, 2 – диэлектрик, 3 – уплотнительная прокладка, 4 – керамическая трубка, 5 – внешний электрод, 6 — рабочий объем эксилампы, 7 — фланец, 8 — кварцевое выходное окно. Стрелки показывают направления выхода излучения. Светло-серые зоны — типичный вид разряда.

На рис. 1. представлена конструкция излучателя XeCl-эксилампы. В промежутке межу высоковольтном электродом 1 и диэлектрическим барьером (керамической трубой, к которой с наружной стороны наложен электрод, ε ~ 1000), зажигается разряд. В корпусе установки, имеется кварцевое окно толщиной в 1 cm, которое пропускает около 80% на длине волны 200 nm.

Форма разряда в эксилампе зависит как от диаметра высоковольтного электрода, так и от парциального давления тройной смеси компонентов. В большей степени она зависит от от галагеноносителя и в меньшей от давления буферного газа. [1]

В чем же плюсы лечения дерматозов XeCl-эксилампой?

Псориаз является весьма распространённым кожным заболеванием и тяжело поддается лечению. Самым распространённым из методов лечения является применение разнообразных мазей, но большинство из них только уменьшают покраснение или зуд, а не избавляют от псориатических бляшек полностью. Так же, для его лечения используются лекарственные средства, применяемые внутрь, но они имеют ряд недостатков. К примеру, первые из подобных препаратов пагубно влияли на иммунную систему, подавляя ее способность сопротивляться даже элементарной простуде. Так же, отмечено влияние лекарств на почки и другие внутренние органы. [3]

В случае применения эксилампы, имеется ряд преимуществ. Во-первых, она не оказывает влияния на внутренние органы пациента. Длина волны излучения проникает только до слоя дермиса, что проиллюстрировано на рис. 2, где и находится очаг дерматологических заболеваний. Так же, излучение безопасно для наружных покровов незатронутых болезнью и, как показали эксперименты, после процедуры у пациента остается только легкое покраснение кожных покровов, проходящее через несколько часов. Во-вторых, это длительность лечения. Курс состоит из девяти сеансов, длительностью 60-90 секунд. После прохождения курса лечения у больных наблюдалось практически полное исчезновение утолщений на псориатических бляшках, схождение так называемых парафиновых озерц (белых или серых участков напоминающих застывший воск) и почти полное исчезновение покраснений (рис. 3.).

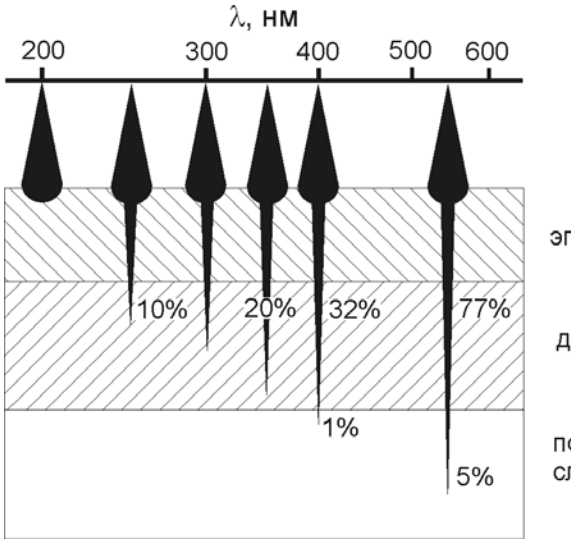


Рис .2. График зависимости проникающей способности излучения от длины волны.

а)

б)

Рис. 3. Результаты экспериментов с XeCl-эксилампой. а) на момент начала лечения; б) после восьми сеансов.

Преимущество XeCl-эксилампы перед лазерами с подобными характеристиками заключается в ее невысокой стоимости и простоте использования. Как известно, лазерные установки требуют большой мощности, до 1 кВт, что подразумевает использование дополнительных источников питания, и большой затраты ресурсов. Эксилампе для работы требуется 70 Вт, при этом диапазон излучения остается тем же.

Эксилампа безопасна как для мед. персонала, так и для пациента, что в медицинской практике является весомым аргументом. При всей своей простоте, в сравнении с прочими источниками излучения, эксилампы не уступает им по таким важным параметрам, как уровень излучения и площадь, причем во втором, намного превосходя лазеры.

Литература

1. Ерофеев М. В., Ломаев М.И., Соснин В.Ф., Тарасенко Д.В., Шитц. Импульсная KrCl эксилампа с плотностью мощности 1 kW/cm^2 // Журнал технической физики. — 2001. — Т. 71. — № 10. — ст. 137.

2. Авдеев С.М., Костыря И.Д., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. О формировании импульсов наносекундной длительности в XeBr-эксилампе барьерного разряда. // Журнал технической физики. — 2006. — Т. 76. — № 7. — ст. 59.

3. Кожные и венерические заболевания. Под ред. Скрипкина Ю.К., Кубанова А.А. — М. : ГЭОТАР-Медиа. — 2009. — ст. 302.

РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Бексолтанова С. С.
Научный руководитель: В. А. Лисин, д. т. н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: salta_0291@mail.ru

Планирование режимов облучения является важнейшим этапом в процессе проведения лучевой терапии злокачественных новообразований. В последние десятилетия основным руководством для планирования служила модель время – доза – фракционирование (ВДФ). Однако параллельно с ней развивается линейно-квадратичная модель (ЛКМ) [1], которую все шире применяют в терапии редко-ионизирующим излучением. Поэтому понятен интерес к ее использованию и в нейтронной терапии (НТ), где до сих пор ЛКМ для планирования режимов облучения не применялась.

Одна из проблем, препятствующих применению ЛКМ для планирования НТ, состоит в том, что к настоящему времени не известны ее параметры для конкретных источников нейтронного излучения.

Поэтому **цель** данного исследования состояла в определении параметров ЛКМ для терапевтического пучка быстрых нейтронов циклотрона У-120 Томского политехнического университета. Названный ускоритель в НИИ онкологии СО РАМН г. Томска уже в течение многих лет используют для проведения нейтронной терапии онкологическим больным региона Сибири и Дальнего Востока. Терапевтический пучок быстрых нейтронов со средней энергией 6,3 МэВ получен путем бомбардировки дейтронами, ускоренными до 15 МэВ, бериллиевой мишени в реакции [2]:

$$^{2}_{1}d + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$$

До настоящего времени в основу планирования режимов облучения нейтронами была положена модель ВДФ, разработанная специально для нейтронной терапии [3].

Алгоритм планирования режимов лучевой терапии по ЛКМ с применением редкоионизирующего излучения подробно изложены в работе [1]. ЛКМ для редкоионизирующего излучения определена формулой:

$$S_\gamma = S_o \exp[-(\alpha_\gamma d + \beta_\gamma d^2)], \qquad (1)$$

где α_γ и β_γ - параметры модели, причем параметр α_γ определяет долю летальных повреждений в клетках и выражается в $Гр^{-1}$, а параметр β_γ определяет долю накапливаемых сублетальных повреждений и имеет размерность $Гр^{-2}$. S_o и S_γ в (1) – соответственно начальное число клеток и число клеток, выживших после облучения.

Видно, что выживаемость клеток по ЛКМ определяется произведением двух экспонент. Функция $\exp(-\alpha_\gamma d)$ описывает гибель клеток, обусловленную одномоментными двойными разрывами ДНК, а часть уравнения $\exp(-\beta_\gamma d^2)$ ответственна за описание гибели клеток при накоплении одиночных разрывов ДНК.

Из [1] следует, что достаточным условием для применения ЛКМ является информация о величине $\alpha_\gamma/\beta_\gamma$, для которой там же для нормальных тканей по критерию ранних лучевых реакций рекомендовано усредненное значение $\alpha_\gamma/\beta_\gamma = 10$ Гр. Значения в отдельности параметров α_γ и β_γ в [1] не приводятся. Для того, чтобы в дальнейшем иметь возможность более подробно проанализировать методические основы планирования нейтронной терапии на основе ЛКМ, поставлена задача найти в отдельности параметры α и β и для редкоионизирующего излучения, и для нейтронов.

Для определения в отдельности параметров α_γ и β_γ для редкоионизирующего излучения наряду с ЛКМ применена многомишенная модель (ММ) клеточной выживаемости. Многомишенной модели соответствует выражение:

$$S_\gamma = S_0[1-(1-e^{-d/D_{o\gamma}})^{n_\gamma}], \qquad (2)$$

где $D_{o\gamma}$ и n_γ – радиобиологические параметры, характеризующие степень радиочувствительности клеток в ММ.

Модель (2) широко используют в радиобиологии для оценок выживаемости клеточных структур при однократном и фракционированном облучении, а закономерности, получаемые на основе этой модели дают удовлетворительное согласие с клиническими результатами [4]. То есть функции (1) и (2) адекватно отражают реакцию облучаемой ткани на лучевое воздействие. Отсюда следует, что расчеты по этим двум моделям должны удовлетворительно совпадать друг с другом. Очевидно, что функции не могут совпадать во всей области своего определения, поскольку в полулогарифмических координатах функция (1) характеризуется непрерывно изменяющимся наклоном, а функция (2) имеет линейный участок. Однако можно потребовать, чтобы результаты расчета по обеим моделям были близкими в области доз, характерных для лучевой терапии. На этом основании для области однократных терапевтических доз 2 Гр $\le$ d $\le$ 10 Гр можно записать равенство:

$$\exp[-(\alpha_\gamma d_\gamma + \beta_\gamma d_\gamma^2)] \approx 1-[1-\exp(-\frac{d_\gamma}{D_{0\gamma}})]^{n_\gamma} \qquad (3)$$

Для нахождения параметров α_γ и β_γ, обеспечивающих наиболее точное выполнение равенства (3) в заданном интервале доз, применен способ наименьших квадратов [5]. Причем рассмотрена задача планирования режимов облучения по критерию ранних лучевых реакций, то есть при $\alpha_\gamma / \beta_\gamma$ = 10 Гр. В расчетах, согласно [6], принято: $D_{0\gamma}$ =1.66 Гр и n_γ=3. В результате найдены наивероятнейшие значения параметров, а именно: α_γ = 0,25 $Гр^{-1}$ и β_γ = 0,025 $Гр^{-2}$. Результат расчетов отражен на Рис. 1, из которого следует, что функции (1) и (2) хорошо совпадают между собой в области доз до 10 Гр, рекомендованных для лучевой терапии редкоионизирующим излучением.

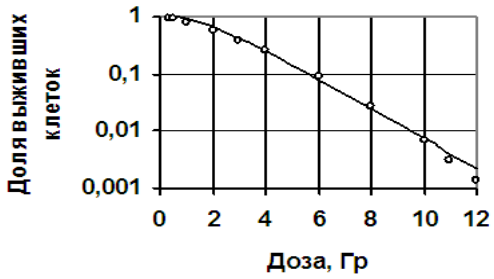


Рис.1. Сравнение функций (1) и (2) при α_γ = 0,25 $Гр^{-1}$ и β_γ = 0,025 $Гр^{-2}$: линия – ММ; точки – ЛКМ.

Поскольку при найденных параметрах результаты расчета по ЛКМ и ММ хорошо согласуются, можно использовать их для определения соответствующих параметров в нейтронной терапии - $\alpha_н$ и $\beta_н$. При решении данной задачи дополнительно использована следующая совокупность информации: зависимость относительной биологической эффективности (ОБЭ) нейтронов от дозы [6], формула для ВДФ в нейтронной терапии [3], а также аналог фактора ВДФ в ЛКМ, которым является понятие «суммарный биологический эффект», определяемое соотношением [1]:

$$СЭ=D(\alpha/\beta+d)$$

Здесь D и d – суммарная и однократная очаговые дозы соответственно. В результате анализа указанной информации и соответствующих расчетов получены следующие значения параметров ЛКМ для нейтронной терапии: $\alpha_н$ =1,03 $Гр^{-1}$; $\beta_н$= 0,023 $Гр^{-2}$.

На рис. 2 приведены зависимости выживаемости клеток кожи, рассчитанные по многомишенной (линия) и по линейно-квадратичной модели (точки) для нейтронов. Видно, что результаты расчета хорошо совпадают между собой. Отсюда можно заключить, что выбранный алгоритм расчета и полученные при этом численные значения параметров α_γ и β_γ, $\alpha_н$ и $\beta_н$ верны. Основания для такого утверждения можно найти и в литературе. Так, в работе [7] параметры $\alpha_н$ и $\beta_н$ численно по отдельности не определяются, но из нее следует, что $\beta_н \approx \beta_\gamma$, а $\alpha_н$ увеличивается ~ в 4 раза по отношению к α_γ. Следовательно, полученные нами численные значения параметров $\alpha_н$ и $\beta_н$, соответствуют имеющимся на сегодняшний день представлениям о соотношении параметров ЛКМ для гамма – и нейтронного излучения.

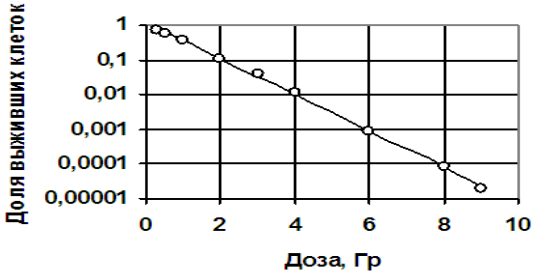


Рис. 2. Выживаемость клеток кожи по ММ и ЛКМ для нейтронов.

Привлечение ЛКМ для решения задач планирования нейтронной терапии позволит расширить способы и возможности выбора режимов фракционирования дозы как в самостоятельном варианте нейтронной терапии, так и при ее сочетании с гамма-терапией.

Список литературы.

1. Линейно – квадратичная модель в расчетах изоэффективных доз, в оценке противоопухолевого эффекта и лучевых осложнений при лучевой терапии злокачественных опухолей. Пособие для врачей/ А. С. Павлов, М. А. Фадеева, Н. Ф. Карякина и др.// Москва, 2005, 67 с.

2. Дистанционная нейтронная терапия/ Б. Н. Зырянов, Л. И. Мусабаева, В. А. Лисин и др.// Томск, 1991, изд. ТГУ, 300 с.

3. Лисин В. А. Модель ВДФ для дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами. // Медицинская радиология.- 1988.- № 9.- С. 9 – 12.

4. Нейтронная терапия злокачественных новообразований/ Под редакцией Л. И. Мусабаевой, В. А. Лисина// Томск, 2008.- изд. НТЛ.- 285 С.

5. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта// М., Изд. «Наука».- 1970.- 430 С.

6. Лисин В. А. Теоретические исследования зависимости ОБЭ быстрых нейтронов от дозы для кожи и соединительной нормальной ткани человека// Радиобиология.- 1986.- № 5.- С. 656 – 660.

7. Roger G., Bleddyn J. The assessment of RBE effects using the concept of biologically effective dose// Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.- 1999.- Vol. 43.- N. 3.- P. 639-645.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PLLA ПЛЕНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Богомолова Н.Н., Усеинов А.С. *
Научный руководитель: доцент ТПУ, кандидат ф.-м.н., С.И. Твердохлебов
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: bogomolova.natash@gmail.com
*Зав.отделом ФГБНУ ТИСНУМ, кандидат ф.-м.н.,
142190, Россия, г. Москва, г.Троицк, ул. Центральная , 7а
E-mail: useinov@mail.ru

Для лечения остеоартроза в современной медицине используются имплантаты, изготовленные, в том числе, из керамики, которые способны выдерживать значительные механические нагрузки, прикладываемые к костному сегменту в процессе жизнедеятельности организма. Но значение модуля упругости E биокерамики намного превышает этот показатель для человеческой кости, что может повлечь за собой негативные последствия эндопротезирования, например, расшатывание имплантата и потерю его надежной фиксации. Решением этой проблемы является формирование на ножке эндопротеза слоя синтетического полимерного материала, играющего роль демпфера. Для улучшения биоактивных свойств поверхности полимера предложено её модифицировать PVD методами, нанеся тонкое кальций-фосфатное (КФ) покрытие. В результате этого имплантат с многослойным (гибридным) покрытием обладает требуемыми физико-механическими свойствами и приобретает биоактивность, что должно способствовать его интеграции с костной тканью.

Для формирования КФ покрытий в работе использовалось высокочастотное магнетронное распыление (ВЧМР) мишени из гидроксиапатита (ГАП). Такой метод позволяет формировать плотные, однородные покрытия с заданными свойствами.

Материалы и методы

Полимерные покрытия были нанесены на пластины из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т размерами 25×15×3 мм. Раствор полимолочной кислоты (PLLA) готовили растворением порошка полимера в дихлорметане при непрерывном перемешивании и постоянной температуре 20°С. Раствор полимера методом пневматического распыления наносили на предварительно подготовленные и нагретые до 20°С стальные пластины. Образцы с нанесенными полимерными покрытиями для удаления остатков растворителя помещали в сушильный шкаф на 12 ч при 150°С. Выбранные режимы позволяют получать гомогенные и эластичные полимерные пленки PLLA толщиной порядка 2 мкм.

Полимерный слой полимолочной кислоты модифицировали методом ВЧМР. Формирование КФ покрытия происходило на опытно-промышленной установки, в вакуумной камере которой размещался высокочастотный магнетронный источник, питаемый ВЧ генератором с максимальной мощностью 2 кВт и рабочей частотой 13,56 МГц. КФ покрытия наносились на подложки из нержавеющей стали размером 25×15×3 мм при мощности генератора 100 Вт в течение 30 секунд, 1, 2,5 и 5 минут, при рабочем давлении 5×10^{-1} Па в атмосфере аргона.

Физико-механические характеристики поверхности покрытий были исследованы методом наноиндентирования, основанным на измерении и анализе зависимости нагрузки при вдавливании индентора в поверхность материала от глубины внедрения индентора на приборе «НаноСкан–3D» (ТИСНУМ). Главным отличием «НаноСкан» от других подобных устройств является применение пьезорезонансного кантилевера камертонной конструкции с высокой изгибной жесткостью консоли (~20 кН/м). В качестве индентора используются трехгранные алмазные пирамиды типа Берковича. «НаноСкан» позволяет проводить измерение топографии, карты модуля Юнга на одном участке поверхности, осуществлять измерение твердости методом наноиндентирования и склерометрии [1].

Результаты и обсуждение

По представленным в таблице 1 результатам измерения шероховатости для образцов, модифицированных ВЧМР, наблюдается увеличение параметра шероховатости R_a (среднеарифметическое отклонение профиля), что нельзя сказать про параметр R_z (высота неровностей профиля по десяти точкам).

На рисунке 1а представлено АСМ изображение поверхности полимерного покрытия (PLLA) без модифицирования. Как видно, поверхность полимерного слоя представляет собой однородную пленку, сформированную полимерными глобулами вытянутой элепсовидной и круглой формами с максимальным размером зерна порядка 15 мкм.

АСМ изображение поверхности КФ покрытия, сформированного ВЧМР распылением мишени из ГАП, представлено на рисунке 1б. Из рисунка видно, что полимерное покрытие за 1 минуту модифицирования становится менее шероховатым, глобулы «сливаются». Это связано с тем, что при воздействии плазмы на полимер

формируется тонкая КФ пленка и, возможно, происходит плавление поверхности. Этот результат подтверждают и данные о шероховатости PLLA покрытия, модифицированного ВЧМР (см. таблицу 1).

Таблица 1. *Шероховатость пленки PLLA, модифицированной ВЧМР.*

Образец/режим нанесения КФ покрытия	**Среднеарифметическое отклонение профиля (R_a), нм**	**Высота неровностей профиля по 10 точкам (R_z), нм**
Полимер PLLA	92,4	817,7
Полимер PLLA + КФ/ 30 с	2,1	19,9
Полимер PLLA + КФ/ 1 мин	2,1	15,4
Полимер PLLA + КФ/ 2,5 мин	3,7	41,3
Полимер PLLA + КФ/ 5 мин	4,1	29,6

а)

б)

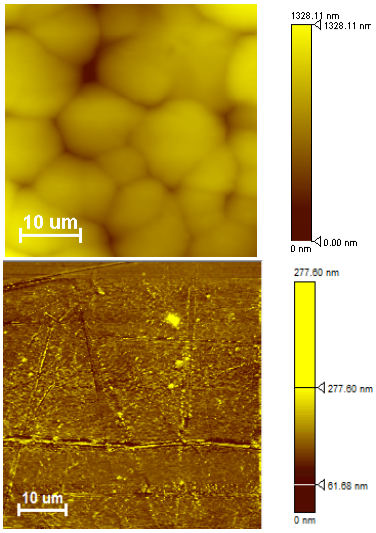


Рис.1. *АСМ изображение поверхности образцов: а) полимерное покрытие PLLA (50мкм×50мкм×1 нм); б) КФ покрытие, модифицированное ВЧМР в течение 1 минуты (50×50×0,5 мкм).*

На рисунке 2а представлено изображение отпечатка индента (нагрузка 0,1 мН) на поверхности образца, модифицированного в течение 2,5 минут ВЧМР распылением ГАП мишени. По высоте профиля отпечатка вдоль красной линии, показанной на рисунке 2б, можно судить о глубине проникновения индента в материал, которая была порядка 200 нм.

а)

б)

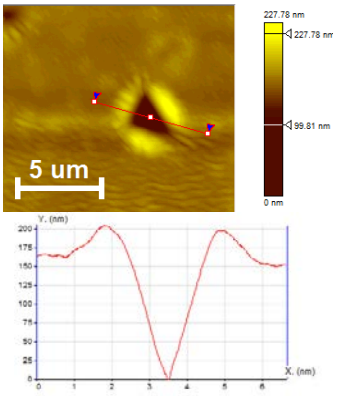


Рис. 2. *Топография поверхности полимерного покрытия, модифицированного ВЧМР распылением мишени из ГАП в течение 2,5 мин: а) изображение отпечатка индента при нагрузке 0,1 мН; б) высота профиля вдоль линии, обозначенной на рисунке 2а красным цветом.*

Исследование физико-механических характеристик модифицированных полимерных покрытий происходило в небольшом диапазоне нагрузок (от 0,1 мН до 3 мН), в связи с демпферными свойствами полимера [2]. В таблице 2 представлены полученные значения модуля упругости *H* и модуля упругости (Юнга) *E* для покрытий PLLA, модифицированных при разных режимах.

Таблица 2. *Модуль упругости H и модуль Юнга E пленки PLL, модифицированной ВЧМР.*

Образец/режим нанесения КФ покрытия	**H, ГПа**	**E, ГПа**
Полимер PLLA	0,17	2,8
Полимер PLLA + КФ/30 с	0,29	7,6
Полимер PLLA + КФ/1 мин	0,30	17,13
Полимер PLLA + КФ/2,5 мин	0,24	10,1
Полимер PLLA + КФ/5 мин	0,40	14,4

Результаты, полученные при 30 секундах модификации, демонстрируют увеличение *H* и *E* системы металл - полимерный слой - КФ покрытие до значений *H* и *E* близких к значениям губчатой кости (*E*=5 ГПа), что обеспечит защиту от возникающих механических напряжений и надежную фиксацию эндопротеза.

Список литературы:

1. А.С. Усеинов. Измерение модуля сверхтвердых материалов с помощью сканирующего зондового микроскопа "НаноСкан". Приборы и техника эксперимента, 2004, №1, с.134-138.
2. А.И. Мальчихина, Е.Н. Больбасов, Е.В. Шестериков. Многослойные системы полимерный слой – КФ покрытие для эндопротезов мелких суставов // XVIII Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». Сборник.-2012 г.-С.57-58.

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Бочков М.С., Качалин А.С., Баранов В.Н.
Научный руководитель: Баранов В.Н., д.м.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет,
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: montoya007@mail.ru

В последнее время возрастает интерес к лазерной терапии. Частота использования разнообразных методик лазерного воздействия в структуре физиотерапии значительно выросла, и многие исследователи ставят своей целью шире применять в лазерной физиотерапии принципы биоуправления и биосинхронизации для улучшения результатов лечения болезней человека [1, 2]. Поэтому использование лазерных устройств с биоуправлением и биосинхронизацией позволит снизить энергетическую нагрузку на организм больного и повысить эффективность физиотерапии. Благодаря синхронизации изменений интенсивности лазерного воздействия и изменений кровенаполнения тканей расширяется диапазон положительных реакций клеток и уменьшается вероятность передозировки лазерного воздействия [3]. Согласование путем перестройки местного кровотока в области патологии с центральным кровотоком усиливает взаимосвязь и интегральную целостность всего организма.

Разрабатываемый метод лазерной терапии основан на синхронизации фаз притока (анакроты) и оттока крови (катакроты) в области патологического очага с фазами сужающегося и расширяющегося лазерного пятна на проекции данного патологического очага [1]. Предполагается, что сужающееся на проекции патологического очага пятно лазерного луча будет активировать приток крови к центру пятна (рис. 1), а расширяющееся пятно лазерного света (рис. 2) – положительно влиять на отток крови в направлении от центра пятна к его периферии.

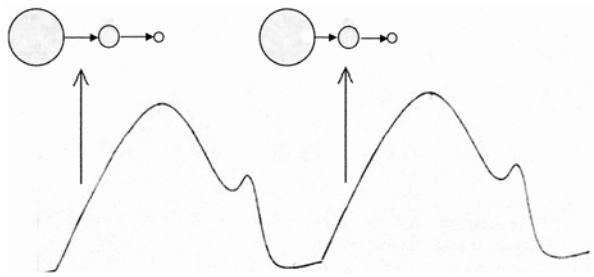


Рис. 1. Биосинхронизация сужающегося лазерного пятна на проекции патологического очага с началом анакроты, для усиления притока крови, где: вверху показаны этапы сужения лазерного пятна; внизу – реограмма

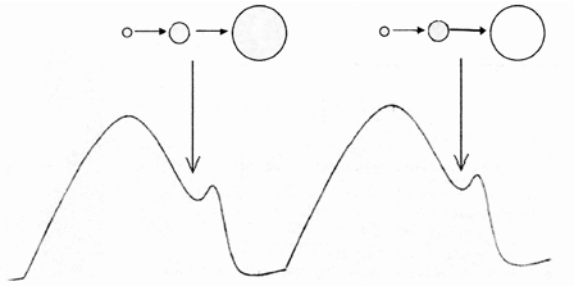


Рис. 2. Биосинхронизация расширяющегося лазерного пятна на проекции патологического очага с началом катакроты, для усиления оттока крови, где: вверху показаны этапы расширения лазерного пятна; внизу – реограмма

Сигнал, моделирующий реограмму больного, формировался по закону линейной разности: $R_{П}(t) = (1-\mu)\cdot R_{Б}(t) + \mu \cdot R_{Э}(t)$, $\mu \in [0\ldots1]$, где: $R_{П}(t)$ - реограмма пациента, $R_{Б}(t)$ - реограмма болезни, $R_{Э}(t)$ - эталонная реограмма, μ - доля действия соответствующего сигнала (μ линейно нарастает от 0 до 1 на всем интервале моделирования: в начальный момент времени $\mu \approx 0$, реограмма пациента «повторяет» реограмму болезни; в конечный момент времени (соответствует завершению сеанса терапии) $\mu \approx 1$, реограмма пациента «приближается» к эталонной реограмме и составляющая болезни уходит).

Управляющий сигнал формировался по формуле $f(t) = \begin{cases} \dfrac{R_{Э}(t) - R_{П}(t)}{f_{\max}}, R_{Э}(t) \rangle R_{П}(t) \\ 0,\ R_{Э}(t) \langle R_{П}(t) \end{cases}$, где

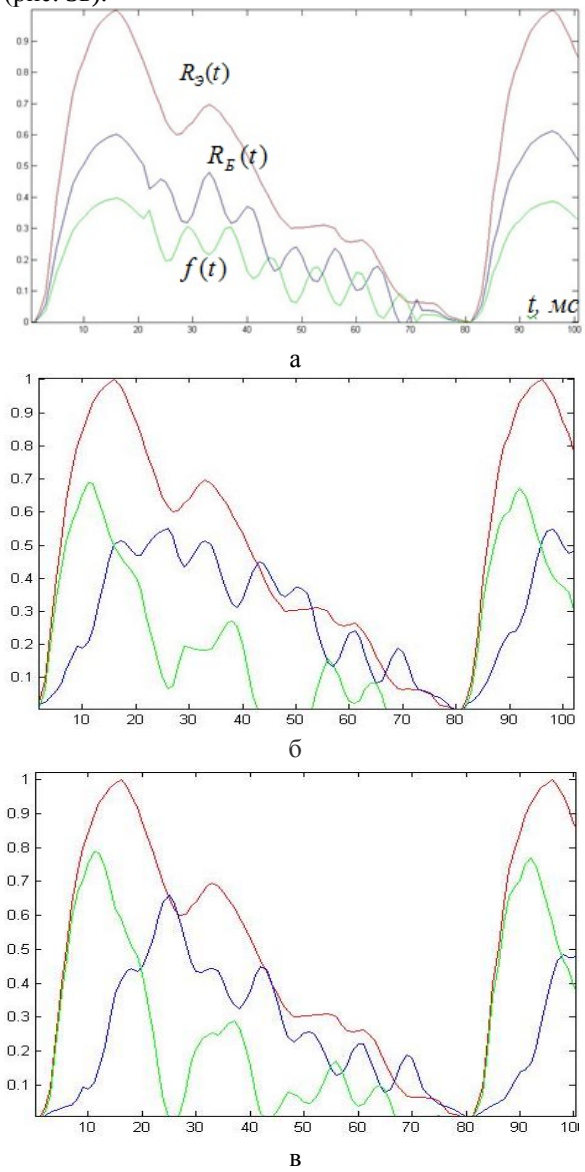
$f_{\max}$ - максимальное значение управляющего сигнала, соответствующее максимальной мощности лазера и максимальному приближению лазера.

В ходе численного эксперимента время моделирования составляло 30 секунд. Амплитуда нарушенных сигналов в начальный момент времени была в 1,5 меньше амплитуды эталонной реограммы. Постоянная времени моделирования составляет 1 миллисекунду.

Предлагаемая методика автоматизированной коррекции гемодинамических расстройств заключается в формировании управляющего

сигнала, отвечающего за мощность и позиционирование лазера, для лазерной установки на основе разницы между эталонной реограммой и реограммой пациента в режиме реального времени. Методика рассчитана на основе численного эксперимента с помощью методов математического моделирования. В качестве эталонного сигнала использовалась типовая реограмма, соответствующая пульсу с частотой 75 ударов в минуту.

На представленных ниже графиках показан пример формирования управляющего сигнала для различных типовых заболеваний на временном отрезке длительностью 1 сек. (100 миллисекунд): нарушение оттока крови (рис. 3а); нарушение притока и оттока крови (рис. 3б); застой крови (рис. 3в).



а

б

в

Рис. 3. Формирование управляющего сигнала при: нарушении оттока крови (рис. 3а); нарушение притока и оттока крови (рис. 3б); застое крови (рис. 3в).

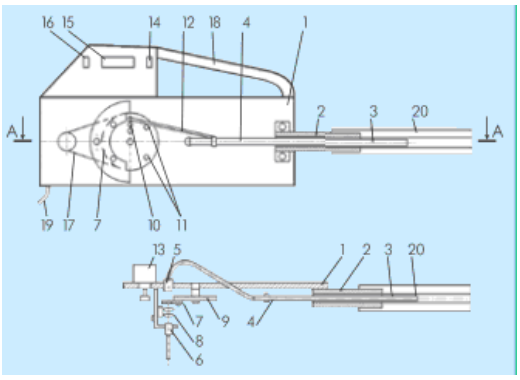


Рис. 4. Устройство для лазерной терапии

Как видно из рисунка 4, устройство для лазерной терапии состоит из: 1- корпуса; 2 - направляющей трубки; 3 - внутреннего световода с градациями от 0 до 10 для фиксации проксимального конца толкателя - 4, 5 - узла фиксации проксимального конца внутреннего световода; 6 - узла фиксации дистального конца внешнего световода; 7 - диафрагмы, 8 - оптической системы; 9 - диска с отверстиями для различной фиксации проксимального конца толкателя - 10 и с отверстиями для фиксации диафрагмы на диаметрально противоположную сторону-11; 12 - толкателя; 13 - электродвигателя; 14 - реостата; 15 - тахометра; 16 - выключателя; 17 - ремня; 18 - ручки, 19 - провода источника питания; 20 - сменной насадки из оптически прозрачного материала. Данное устройство позволяет получать на объекте облучения сужающиеся или расширяющиеся лазерные пятна.

Полученный управляющий сигнал $f(t)$ в режиме реального времени может быть преобразован в токовый сигнал, управляющий позиционированием и мощностью лазера.

Метод обеспечивает возможность оперативного контроля и коррекции состояния пациента и диагностики кровотока до, во время и после сеанса лазерной терапии.

Литература

1. Баранов В.Н. Лечебно-диагностическое устройство для биоуправляемой и биосинхронизированной лазерной терапии// 1999. Бюл. №6. Свидетельство РФ на полезную модель №10095.

2. Серов В.Н., Кубицкая Ю.В. Лазеротерапия в ранней реабилитации родильниц / Материалы IY съезда акушеров-гинекологов России. Москва,2008.- С. 237.

3. Баранов В.Н., Малиновский Е.Л., Новиков В.А., Баимова Т.В., Хизбуллин Р.Н. Повышение эффективности применения лазерного терапевтического аппарата «АГИН-01» в гинекологии с использованием метода пальцевой фотоплетизмографии / Казанский медицинский журнал – Т.XCI (№4)- 2010-С.555-560.

ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ОПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ АКУПУНКТУРЫ

Бочков М.С., Качалин А.С., Баранов В.Н.
Научный руководитель: Баранов В.Н., д.м.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: montoya007@mail.ru

В современных условиях возрастают требования к эффективности лазерной терапии и аппаратуре ее реализующей. Традиционные методики обычно заключаются в облучении биотканей по стабильной методике, как в непрерывном, модулированном, так и импульсном режимах [1, 2]. Однако данные приемы лазерного воздействия часто не эффективны, т.к. достаточно быстро наступает адаптация тканей к излучению, что приводит к снижению ответных лечебных реакций организма, а также энергетической нагрузке на функциональные системы организма. Поэтому в медицине находят все более широкое применение лабильные режимы облучения лазерными сканирующими устройствами, которые за счет перемещения луча создают условия для равномерного распределения энергии лазерного излучения в зоне обрабатываемой поверхности и передают энергию излучения тканям за более короткое время [3].

Важную роль в физиотерапии и рефлексотерапии занимают методики лазерной стимуляции биологически активных точек (БАТ), особенно путем их прогревания. Историческими предпосылками современных методик лазерной активации БАТ явились методы китайской чжень-цзю терапии [4]. Так, для активации БАТ применялись и применяются в настоящее время зажженные полынные сигары. Традиционно используются методики: неподвижного расположения сигары над БАТ; «утюжки» сигарой БАТ; «клюющего дзю», когда сигара ритмически подносится к точке. В дальнейшем, методики мокса терапии трансформировались в современные методики лазерной рефлексотерапии. Однако еще не разработаны методики лазерного воздействия и системы управления излучением для глубокого прогревания БАТ лазерным излучением (аналога методики «клюющего дзю»), которое по данным китайской медицины интенсивнее прогревает БАТ и сильнее возбуждает нервные центры организма.

В работе поставлена цель провести сравнительный анализ нескольких режимов прогревания лазерным излучением БАТ и разработать оптический дефлектор для реализации наиболее эффективного из них.

Задачи для достижения цели заключались в следующем:

1.Исследование термограмм БАТ при воздействии на них лазерным излучением в трех режимах (неподвижном, в виде плоскостного и объемного сканирования);

2.Проведение сравнительного анализа термограмм БАТ, регистрируемых при воздействии на них лазерным излучением в вышеуказанных режимах;

3.Обоснование преимуществ для рефлексотерапии режимов облучения, обеспечивающих наиболее быстрое и интенсивное прогревание тканей в области БАТ;

4.Разработка оптического дефлектора для управления лазерным излучением, реализующих наиболее эффективный режим прогревания БАТ.

Для исследования температуры в тканях применялся портативный тепловизор Fluke Ti32. В качестве генератора лазерного излучения применялась лазерная установка производства НИИ Полюс им. М.Ф. Стельмаха (Москва), включающая два полупроводниковых лазера, излучающих на длинах волн 0,67 мкм и 0,85 мкм. Мощность излучения на дистальном торце гибкого кварцевого световода контролировалась измерителем мощности лазерного излучения «Мустанг-стандарт».

Объектом исследования явились внемеридиальные БАТ Ши-сюань (РС86), находящиеся в середине кончика пальцев, на 0,3 см от свободного края ногтя, на глубине 3 мм, которые применяются в практике рефлексотерапии при лихорадочных состояниях, потере сознания, отравлении угарным газом, судорогах у детей, боли и отечности слизистой оболочки горла, онемении пальцев руки. Всего проведено 46 термографических исследований. Расстояние от дистального торца световода до БАТ составляло 3 мм. Мощность излучения составляла 5,0 мВт для излучения с длиной волны 0,67 мкм и 10,0 мВт для излучения с длиной волны 0,85 мкм. Экспозиция облучения равнялась 180 с. Исследование температуры биоткани в области БАТ проводилось до облучения и через каждые 60с. Частота перемещения световода в методиках объемного и плоскостного сканирования составляла 1 Гц (во втором случае это одно перемещение «вправо-влево» за 1 секунду).

В результате проведенного исследования были получены термограммы, характеризующие динамику изменения температуры в процессе лазерного облучения БАТ при разных режимах и длинах волн излучения (рис.1).

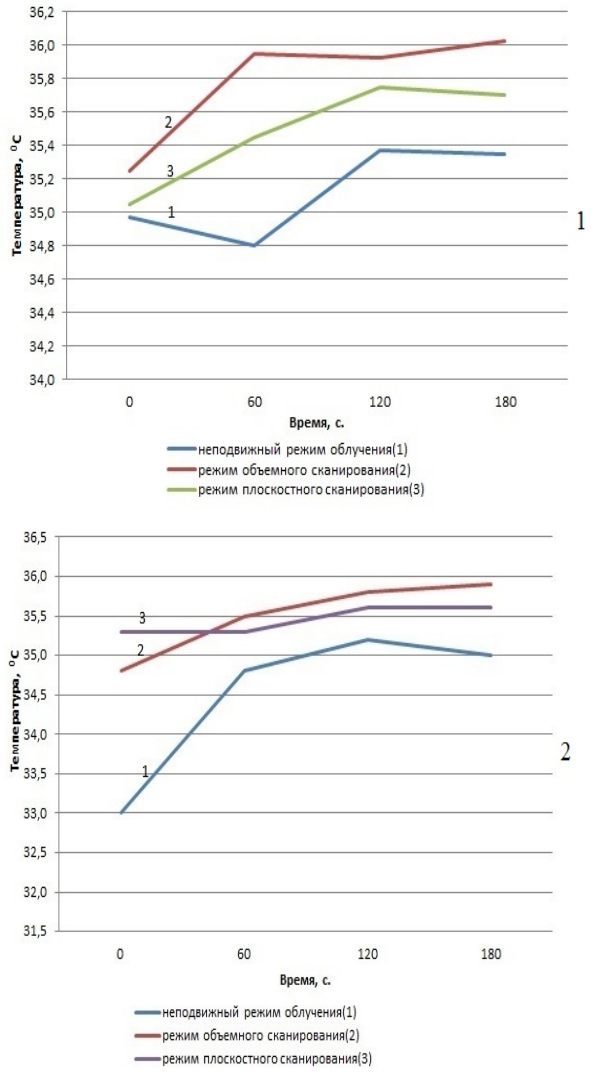


Рис. 1. Динамика температуры в области БАТ при воздействии несколькими режимами излучений: инфракрасного (1) и красного (2) спектрального диапазонов

Как показывают данные исследования, температура в области БАТ при неподвижном режиме облучения и режиме плоскостного сканирования в обоих диапазонах снижалась к третьей минуте лазерного воздействия, причем при инфракрасном облучении в неподвижном режиме даже опускалась на 0,2°С к концу 1 минуты облучения. Температура быстрее и интенсивнее росла к 3-й минуте при облучении в режиме объемного сканирования, что указывает на преимущество данного режима перед остальными.

Проведенные исследования позволили обосновать необходимость разработки и применения в физиотерапии оптического дефлектора, обеспечивающих объемное сканирование БАТ путем возвратно-поступательного передвижения дистального конца лазерного световода (рис.2).

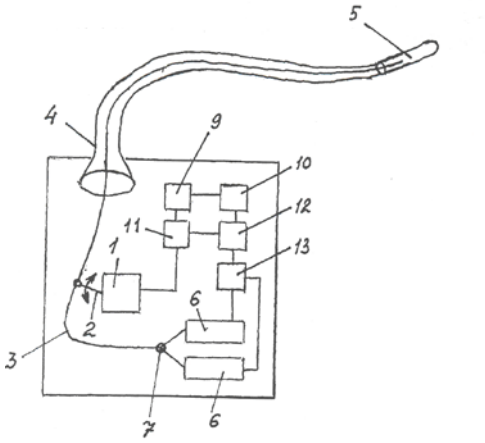


Рис. 2. Блок-схема системы управления лазерным излучением

Как видно из вышеуказанного рисунка, предлагаемая система управления лазерным излучением содержит: маятниковый механизм автоматически перемещающий световод, состоящий из двигателя 1, вращающего на своей оси рычаг 2 по или против часовой стрелки, закрепленный подвижно с мобильным световодом 3, помещенным в отдельный корпус 4; прозрачную пробирку с наружным диаметром 10-15 мм и длиной 14-15 мм, оканчивающуюся сферически закрытым наконечником 5 внутри которого вдоль продольной оси перемещается световод, вводимым во влагалище или подводимым к биологически активной точке на кожных покровах пациентки; два лазерных портативных полупроводниковых излучателя в красной (0,63-0,67 мкм) и инфракрасной (0,81-0,89 мкм) областях 6, которые подключаются к корпусу попеременно через оптический разъем 7; стойку крепления устройства к гинекологическому креслу с тремя степенями свободы 8; регулятор изменения частоты перемещения световода 9; регулятор изменения мощности лазерного излучения 10; автоматический включатель и выключатель излучения для каждого из типов лазеров 11; блок звуковой индикации отключения облучения пациентки по окончании лечебной процедуры 12; блок управления аппаратом 13.

Литература

1. Серов В.Н. Лазеротерапия в ранней реабилитации родильниц // Материалы IV съезда акушеров-гинекологов России.- М.,2008. - С. 237.

2. Hejl Z., Pachabradsky J., Vitek L. Periodic System of Biological Rhythms: Spectrum of Human Physiological Periodicities // Surowiak J., Lewandowski M., 1999. - P.70.

3. Дунаев А.В., Евстигнеев Е.В., Шалобаев Е.В. Лазерные терапевтические устройства: Учебное пособие. – Орел: ОрелГТУ, 2005. - 143 с.

4. Овечкин А.М. Основы чжень-цзю терапии.- Саранск, 1991.- 417 с.

ПРОСТАЯ СЕНСОМОТОРНАЯ РЕАКЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

Глинов Д.В.
Научный руководитель: Добро Л.Ф., канд. пед. наук
Кубанский государственный университет, 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149 E-mail: dobro@phys.kubsu.ru

В настоящее время трудно найти метод, который использовался бы столь же часто в психологических исследованиях, как метод регистрации временных параметров сенсорных реакций. Особый интерес к изучению временных характеристик человека связываются с:

– практическими потребностями изучения систем «человек–машина» в целях развития промышленной и военной техники;

– развитием теоретико-информационного подхода к изучению пропускной способности человеческого звена в сложных каналах связи;

– потребностями теоретической и практической медицины, в частности, нейрофизиологии, психиатрии, нейрохирургии;

– развитием таких прикладных дисциплин, как физиология труда и спорта.

В качестве важнейших в сфере психомоторики выделяют временные, пространственные и силовые компоненты движения. Одним из наиболее широко распространенных способов исследования скоростных параметров психомоторных движений является методика рефлексометрии. Она состоит в регистрации временных характеристик сенсорных двигательных реакций, которые определяются, прежде всего, динамикой нервных процессов в структурах мозга.

Показатели скорости двигательных сенсомоторных реакций человека имеют значение для проведения профотбора на целый ряд профессий (операторы, водители, крановщики и др.), а также могут быть использованы для изучения состояния человека в любых сферах деятельности.

В широком биологическом смысле термин «реакция» означает закономерный ответ организма на какое-либо воздействие. Простейший случай специфичного для человека типа поведения реакции состоит в выполнении какого-либо несложного движения по заранее условленному сигналу.

В других, более сложных случаях, обследуемому предписывается на одни сигналы производить условное движение, а на другие воздерживаться от него, или, наконец, на разные сигналы отвечать разными движениями.

Простой сенсомоторной реакцией в психологии называют реакцию, которая осуществляется в условиях предъявления одного заранее известного сигнала и получения одного определённого ответа.

Например, в ответ на звуковой, световой, тактильный и т. д. сигналы человек должен как можно быстрее осуществить определённое действие – нажать на ключ или произнести определённый слог. Исследования показывают, что при надпороговой интенсивности раздражителя время простой реакции определяется в основном физической природой раздражителя и особенностями воспринимающего рецептора.

На время реакции влияют такие факторы как утомляемость, невнимательность, прием тонизирующих веществ или алкоголя. При приеме небольшой его дозы алкоголя, время реакции увеличивается в 2-4 раза.

Время реакции является одной из наиболее существенных характеристик психомоторного ответа [1].

В лаборатории биофизики Кубанского государственного университета собран прибор «Рефлексометр», измеряющий время простой сенсомоторной реакции человека, которая помогает установить интервал времени от начала воздействия на организм какого-либо раздражителя до ответной реакции организма.

Этот прибор позволяет определять реакцию человеческого организма на воспринятые светозвуковые раздражители.

Установка состоит из блока формирования сигнала, имеющим буквенно-цифровой индикатор (1); блока управления с кнопками пуска (остановки) регистрирующего устройства (3) и блока светового (звукового) сигналов (2).

В этом приборе микроконтроллер выполняет все основные функции, а именно подает тестовые сигналы, измеряет время реакции, выводит информацию на буквенно-цифровой индикатор и хранит её в своей энергозависимой памяти (рисунок 1).

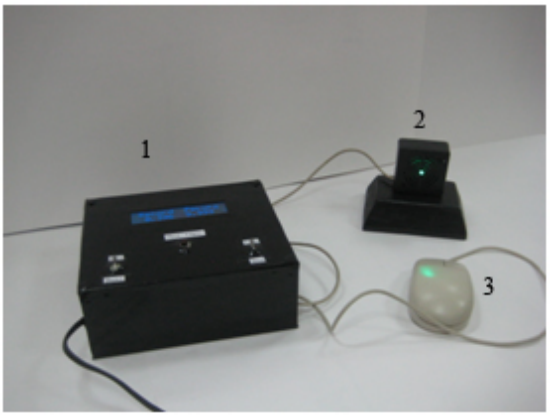


Рис. 1 «Рефлексометр»

Питают устройство от внешнего источника тока переменного напряжения 8-12 В, потребляемый ток не превышает 130 мА. После подачи питающего напряжения происходит считывание данных с EEPROM микроконтроллера. До нажатия кнопки «Пуск/Сброс» происходит генерация значения длительности предстартовой паузы. Она составляет от 1 до 8,2 с и носит случайный характер. По истечении паузы наступает момент старта – включается подсветка ЖКИ, звучит звуковой (световой) сигнал и начинается отсчет времени. Прибор измеряет время реакции в интервале 0,001…9,999 с шагом 0,001 с [2].

Проводя тестирование «Рефлексометра», были исследованы 15 человек разного возраста и в разном психоэмоциональном состоянии.

Тест проводился в условиях тишины и отсутствия других раздражителей, в удобном положении тела и наличием опоры для локтя, чтобы уменьшить влияние статического сокращения мышц руки. Для определения скорости простой сенсомоторной реакции испытуемым предъявлялись визуальные раздражители в виде лампы зеленого цвета диаметром 0,3 см и звукового сигнала. При появлении необходимого сигнала — зеленого цвета, задача добровольца — максимально быстро нажать на клавишу. Время между появлением сигналов было случайным и колебалось от 1 до 7 секунд. Испытуемые были предупреждены, что в каждой серии исследования сначала им будут предъявляться 10 световых (исследование времени простой сенсомоторной реакции), затем 10 звуковых сигналов.

Оценивалось только время сенсомоторной реакции, ошибки выполнения задания исключались. С целью борьбы с артефактами исключались первые значения в каждой реакции, время которых превышало 2000 мс.

Превышение значений времени сенсомоторной реакции связано с отвлечением испытуемых от выполнения теста.

Было обнаружено, что среднее время реакции на звуковой раздражитель равно 0,302 с, а на световой раздражитель – 0,327 с.

Эти значения являются нормой, т.к. время реакции человека находится в промежутке от 0,1 до 0,5 сек. Например, время продолжительности формирования ответного

действия водителя на сигналы светофора в населенном пункте – 0,3–0,4 с.

Время реакции на звуковой раздражитель намного короче времени реакции зрительного раздражителя, т.к. в последнем случае значительную долю времени занимает фотохимический процесс, преобразующий световую энергию в нервный импульс.

У пятерых испытуемых, находящихся в заторможенном состоянии, вызванным непродолжительным сном, среднее время реакции на световой раздражитель было равным 0,497 с, на звуковой раздражитель – 0,471 с.

Эти значения соответствуют низкой простой сенсомоторной реакции. У испытуемых, старше 60 лет, время реакции значительно возросло, на звуковой раздражитель – 0,511 с, а на световой – 0,549 с.

Таким образом, прибор «Рефлексометр» может служить необходимым инструментом обследования психоэмоционального состояния людей, связанных с наличием постоянного внимания и необходимостью в быстром реагировании на непредвиденные обстоятельства.

Это требование является важным, т.к. от него зависят жизни и здоровье людей. Также «Рефлексометр» можно использовать для исследования реакции спортсменов, тестирования на утомляемость водителей дальнобойщиков и многих других людей, в чьи обязанности входит быстрый анализ и принятие решений.

Литература

1. В.Н. Кирой. Физиологические методы в психологии (учебное пособие). Ростов–на–Дону, Изд–во ООО «ЦВВР».2003., 224 с.

2. Ковалев А. Прибор для измерения времени реакции / Ковалев А.//Радио.–2012.–№3.–С.49–50.

АУДИОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА

Глинов Д.В.
Научный руководитель: Добро Л.Ф., канд. пед.наук
Кубанский Государственный Университет, 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149 E-mail: dobro@phys.kubsu.ru

Проблемы со слухом встречаются у 4-6 % населения земного шара. По данным Минздравсоцразвития РФ острая сенсоневральная тугоухость (ОСНТ) составляет 62,2% среди заболеваний внутреннего уха, требующих экстренной ЛОР-помощи. Сенсоневральная тугоухость относится к числу социально значимых заболеваний, поражает все возрастные группы населения.

Функциональная характеристика слухового анализатора имеет важное значение не только для диагностики ушных заболеваний, но и для профотбора (отбор кандидатов для некоторых профессий, определение выносливости). Особенно важным является массовое исследование детей с целью выделить группы с начинающимися нарушениями слуха (для последующей профилактики тугоухости). Наконец, большую роль играют методы функционального исследования уха при выборе приборов, улучшающих слух. Каждая из упомянутых задач имеет определенный объем и свой метод исследования функций звукового анализатора. Картина заболевания бывает иногда настолько ясна, что используют только самые несложные приемы, позволяющие получить достаточные сведения о функциональных способностях уха [1].

Одним из способов диагностики нарушения слуха является аудиометрия (от лат. audio - слышу и ...метрия) - измерение остроты слуха. Т. к. острота слуха определяется главным образом порогом восприятия звука, то аудиометрия сводится к определению наименьшей силы звука, воспринимаемого человеком. Аудиометрию производят специальными электроакустическими приборами - аудиометрами. График зависимости понижения слуха от частоты называется аудиограммой. Для построения аудиограммы можно использовать также генераторы звуковой частоты. Эти приборы позволяют определить уровни интенсивности (уровни звукового давления) на пороге слышимости для разных частот и построить график зависимости этих уровней от частоты – кривую порога слышимости. Сопоставляя найденные пороги с соответствующими величинами для нормального уха (ISO-R-389), находят потерю слуха на каждой выбранной частоте и строят аудиограмму [2].

Абсолютная слуховая чувствительность характеризуется как минимальная интенсивность звука, при которой вероятность его обнаружения равна 0,5. Эта интенсивность принята за порог слышимости.

Наиболее важная функция слуха – разборчивость (понимание) речи, зависит от состояния зоны речевых частот, поэтому проверяются именно речевые (а не все) частоты. На каждую проверяемую частоту выявляется порог слышимости (в дицебелах, дБ).

Начиная с 35-40 лет, происходит повышение порогов слышимости на высоких частотах. На основании измерений среднего абсолютного порога слышимости, проведенных на больших группах здоровых молодых людей в разных странах, установлен стандарт на нулевой аудиометрический уровень ISO-R-389, и действует международный аудиометрический стандарт МЭК 645[3].

На базе лабораторной работы по биофизике «Изучение частоты слияния и верхнего порога слышимости методом аудиометрии» с использованием генератора звуковых волн (Sine Wave Generator), стереоскопических наушников, вольтметра В7-38, переключателя каналов, был проведен эксперимент по определению порога слышимости различных частот у студентов. Эксперимент проводился в небольшой комнате без окон, для того чтобы снизить влияние посторонних шумов на его ход. Измерения при аудиологическом обследовании испытуемых основывались на предъявлении им набора звуковых сигналов и получении от них речевого отчета относительно обнаружения ими этих сигналов, а также о сходстве и различии предъявленных стимулов.

По результатам измерений были построены графики зависимости напряжения от частоты в логарифмическом масштабе (аудиограммы), из которых был определен частотный диапазон восприятия звука, порог слышимости и верхний порог слышимости. Аудиограмма – кривая, отображающая отклонения слуховых порогов от нормальных для разных звуковых частот, то есть графическое отражение способности испытуемого слышать чистые тоны различных частот. На оси абсцисс отмечаются частоты соответствующие частотам генератора звуковых волн. По оси ординат откладывается интенсивность стимула в дБ в верхней части аудиограммы до 110-120 дБ у основания ее. При патологии среднего уха нарушается передача звуковых сигналов от наружного уха к внутреннему, поэтому пороги слышимости в той или иной степени повышаются.

В эксперименте принимали участие люди различных возрастных групп (от 18 до 70 лет). Исследовав различных испытуемых и сравнив

результаты эксперимента с эталонными значениями, было получено большое количество значений без патологий, а также выявлены 2 случая с патологиями (рис.1) – понижение порога звуковосприятия в области 2 кГц – характерный симптом кондуктивной тугоухости.

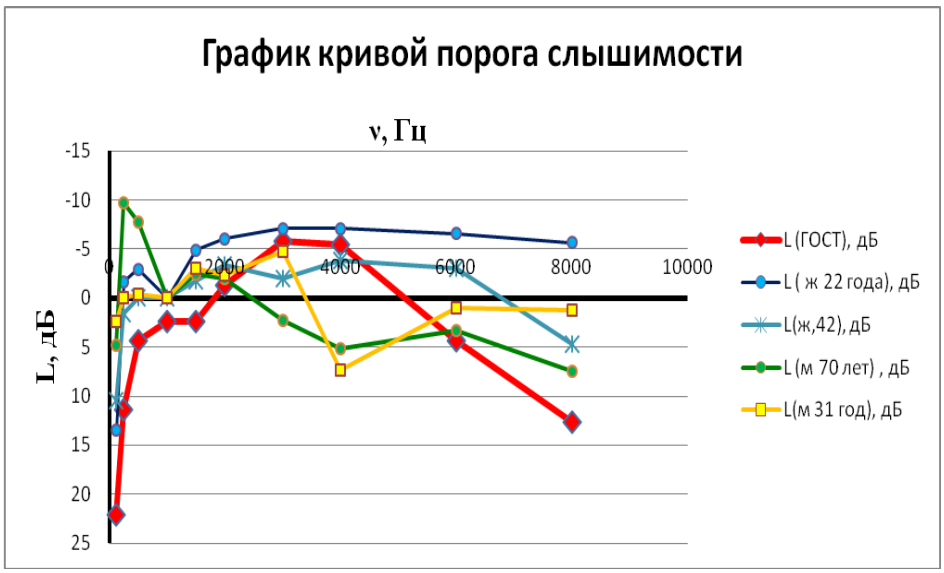


Рисунок 1 – График зависимости интенсивности звукового давления от частоты.

При опросе данных испытуемых выяснилось, что работа одного из них (31 год) связана с постоянным пребыванием в шумных помещениях, а другой (70 лет) имеет поставленный диагноз кондуктивной тугоухости.

Таким образом, на базе лабораторной работы стало возможным провести первичную оценку состояния слуха, и на основании полученных данных произвести анализ, выявить наличие патологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Ф. Добро, Н.М. Богатов. Биофизика лабораторный практикум, часть 3. КубГУ, 2011.

2. Клиническая аудиология. – М.: Святигор Пресс, 2003.

3. А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. Медицинская и биологическая физика. Дрофа, 2003. – 93-103 с.

ПРИМЕНЕНИЕ 3D РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МРТ БЕРЕМЕННЫХ

Горбачёва А.С., Ситник К.А., Толмачев И.В.
Научный руководитель: Пеккер Я.С., профессор
ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
ФГБОУ ВПО НИ ТГУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России634050, г.Томск, Московский тракт, 2

E-mail: a.s.gorbacheva@mail.ru

Благодаря внедрению в медицинскую практику методов лучевой диагностики и развития информационных технологий были предложены новые технологии в диагностике, визуализации, терапии, хирургии и для фаз реабилитационного лечения.

Быстрое развитие методов компьютерной графики обеспечило высококачественную 3D визуализацию анатомических структур пациента, что позволило при своевременной диагностике эффективно лечить значительную часть приобретенных и врожденных заболеваний, в том числе это направление распространилось и на исследование пороков развития в пренатальном периоде.

МРТ плода представляет собой новый неинвазивный и безвредный метод визуализации, позволяющий детально рассмотреть плод, материнские структуры, родовые пути [1]. А применение 3D – модели позволяет еще и визуально оценить данные характеристики.

Актуальность данной темы очевидна: возможности достаточно точных 3D моделей и методов визуализации в пренатальной диагностике позволят разработать ряд методик и программных средств по определению тяжелых врожденных патологий, своевременной акушерской тактике, а также обеспечить поддержку принятия решений при подготовке хирургии новорожденных.

Целью работы является разработка методического подхода к 3D – реконструкции на основе МРТ изображения беременной.

На этапе формирования изображения происходит оцифровка объекта. Для этого необходимо большое количество изображений объекта с разных ракурсов. Наиболее информативные методы для получения таких изображений плода являются ультразвуковые исследования и томография.

Благодаря появлению ультразвуковой аппаратуры с высокой разрешающей способностью, достигнуты большие успехи в визуализации аномалий развития плода. Для получения объемного изображения с помощью УЗ применяются два основных технических решения:

1. Пространственная локализация мануального перемещения источника по позиции сенсора.
2. Использование специального трехмерного трансдьюсера, соединенного с двухмерным ультразвуковым сканнером со встроенным контролем трехмерного пространства и блоком памяти. [2]

Несмотря на достоинства трехмерных ультразвуковых моделей, такие исследования не всегда позволяют точно выявить патологию. Как правило, в спорных ситуациях, прибегают к исследованию плода с помощью МРТ - томографа.

Преимуществом метода МРТ перед методом УЗИ при исследовании головного мозга плода является более высокая точность в определении структурных изменений белого и серого вещества. Метод МРТ широко используется для выявления ишемии, кровоизлияний, воспалительных и опухолевых процессов, а также небольших структурных аномалий. Ещё одним важным преимуществом МРТ является возможность оценки не только структуры, но и функции головного мозга.

В большинстве случаев, МРТ плода проводится в последнем триместре беременности. При наличии особых показаний процедура может выполняться и на более ранних сроках, но, как правило, не ранее 20-ой недели беременности. [3]

В нашей работе, для построения 3D-модели плода (Рисунок 1), совместно с Международным центром томографии г.Новосибирск используются снимки, полученные с томографа Achieva 1.5TXR фирмы Philips. Данные снимки обрабатываются посредством программы 3D-Slicer Version 3.4; компьютер Intel Core i7-3537U CPU 2.000 GHz, AMD Radeon HD8730M, разрешение HD+ (1920x1080).

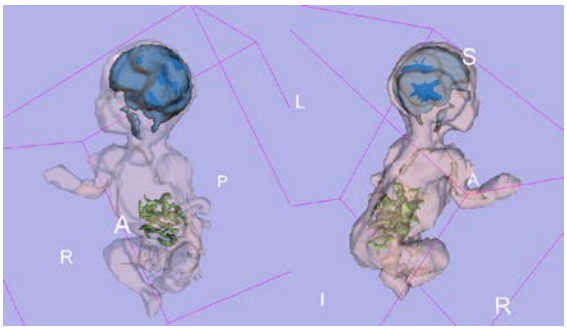


Рисунок 1 – Трехмерная модель плода (вид спереди и вид сзади). Расположение органов относительно друг друга.

Как видно из полученных трехмерных моделей – их разрешение низкое. Такое разрешение 3D – моделей не позволит провести точную диагностику состояния плода. Для решения это проблемы и используется алгоритм – супер разрешения (SR).

Методы SR предоставляют путь к изучению малоразмерных анатомических деталей с помощью объединения нескольких изображений с низ-

ким разрешением, т.е. SR - технология восстанавливает мелкие детали оригинальных изображений, увеличивая разрешение наряду со снижением размытости и зернистости. В частности, методы, которые не зависят от регулярной выборки, могут использоваться в медицинских целях для построения изображения, где время отображения и разрешение ограничены движением. В нашей работе алгоритм SR используется для МРТ - реконструкции плода, не изменяя при этом протокол сбора данных.

Принципом SR - технологии является объединение изображения с низким разрешением для получения изображения, которое имеет более высокое пространственное разрешение, чем оригинальные изображения. Это большая область исследования, охватывающая множество приложений. [4]

По результатам исследований Международного центра томографии (г.Новосибирск) выявили определенный режим работы томографа (SSh-T2-TSE), при котором изображение наиболее информативно и качественно. Исходный снимок плода, сделанный в данном режиме представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Оригинальное изображение (динамическое) с низким разрешением

После применения алгоритма супер – разрешения получены изображения с 4х, 8х, 16х кратным увеличением разрешения. (Рисунок 3)

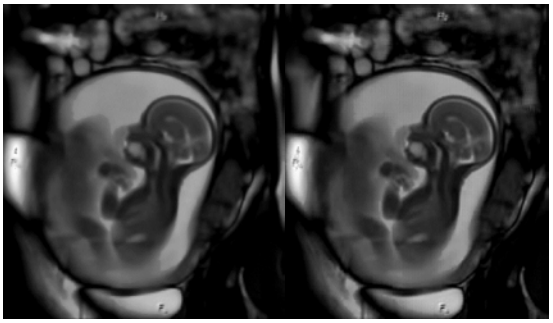


Рисунок 3 – Изображение с 4х (слева) и с 16и (справа) кратным увеличением разрешения

Результаты исследований показывают, что из исходных изображений с невысокой четкостью можно восстановить изображения с высоким разрешением. Изображения (Рисунок 3), полученные с подходом SR, позволяют заметить, что границы мозговых структур и органов плода лучше восстановлены, они становятся более четкими и более гладкими. Использование таких изображений позволит создавать 3D – реконструкции плода очень хорошего качества. Это в свою очередь позволит повысить качество перинатальной диагностики.

По результатам проделанной работы можем сказать, что применение МРТ-исследований с последующей 3D – реконструкцией зарекомендовало себя как новый высокоинформативный метод диагностики самого широкого спектра врожденный патологий с высокой специфичностью характеристики патологических изменений. Во многих случаях поученные с помощью этого метода результаты могут принципиально изменить диагноз, установленный при УЗИ, и оказать существенное влияние на тактику ведения беременности и прогноз для развития ребенка.

Кроме того, применение алгоритма супер – разрешения позволяет при обычных режимах томографа без увеличения дозовой нагрузки на пациентку получить снимки очень хорошего качества. Такой метод позволяет своевременно заметить патологии развития и точно принять решение о дальнейшем лечении. Изображения, полученные с помощью SR - технологии позволит создавать 3D – реконструкции плода очень хорошего качества. Применение 3D – моделей позволит разработать новые объективные критерии в оценке нормального и патологически измененного анатомического строения плода по результатам МРТ.

Список использованной литературы:

1. Коростышевская А.М. Возможности магнитно-резонансной томографии в пренатальной диагностике патологии головного мозга и биометрии интракраниальных ликворных структур / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук - Томск – 2010г., 31стр

2. Мерц Е. Трехмерная эхография в определении анатомии плода и аномалии его развития / Медицинский журнал "SonoAce-Ultrasound" N1, 1996 г. [Электронный ресурс] – Код доступа: http://www.medison.ru/si/art5.htm

3. Панов В. МРТ в акушерстве и перинатологии. [Электронный ресурс] – Код доступа: https://www.star-program.com/fileadmin/user_ upload/abstracts/mri in obstetrics and perinatology 01.pdf

4. Rousseau F., Kim K., Studholme C., M. Koob, and J.-L. Dietemann On Super-Resolution for Fetal Brain MRI / Med Image Comput Comput Assist Interv. 2010; 13(Pt 2): 355–362. [Электронный ресурс] – Код доступа: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3319126/

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАНАХ

Гордин М.И., Добро Л.Ф.
Научный руководитель: Добро Л.Ф. д.п.н., доцент
Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
Email: dobro@phys.kubsu.ru

Мембраны играют ключевую роль как в структурной организации, так и в функционировании всех клеток прокариотических и эукариотических, растительных и животных. Мембраны формируют внутриклеточные компартменты, с их помощью происходит разделение содержимого компартментов и окружающей их среды. Но если бы это была единственная функция мембран, они не были бы для нас столь интересны. Мембраны не только разделяют клетку на отдельные компартменты, но и участвуют в регуляции всех связей и взаимодействий, которые осуществляются между наружной и внутренней сторонами этих компартментов. Это может проявляться в виде физического переноса ионов или молекул через мембрану или в форме передачи информации при помощи конформационных изменений, индуцируемых в мембранных компонентах. Кроме того, с мембранами связаны многие клеточные ферменты. Некоторые из них катализируют трансмембранные реакции, когда реагенты находятся по разные стороны мембраны или когда каталитический акт сопровождается транспортом молекул. Другие ферменты образуют своеобразные комплексы, которые осуществляют цепь последовательных превращений, причем благодаря тому, что эти ферменты располагаются в плоскости мембраны, повышается эффективность всего процесса [1].

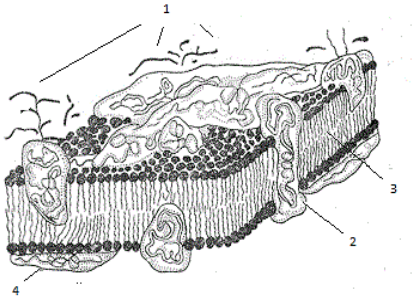


Рис. 1. Строение клеточной мембраны; углеводы (1),транспортный белок (2), липидный бислой (3), периферический белок (4)

Благодаря транспортным системам клетки накапливают метаболиты, важные для обеспечения энергетического цикла и метаболических процессов, выводят в окружающую среду токсические вещества, а также создают разность потенциалов на мембране. В настоящее время очевидно, что все эти явления так или иначе определяются барьерными свойствами клеточных мембран. В зависимости от потребностей клетки транспорт веществ осуществляется или по или против концентрационного градиента. Способ проникновения через мембрану в значительной степени определяется свойствами вещества. Низкомолекулярные нейтральные вещества, такие, как газы, вода, аммиак, глицерин и мочевина, свободно диффундируют через биомембраны. Однако с увеличением размера молекулы теряют эту способность. К примеру, клеточные мембраны непроницаемы для глюкозы и других сахаров. Проницаемость биомембран зависит также от полярности веществ. Неполярные вещества, такие, как бензол, этанол, диэтиловый эфир и многие наркотики, способны проникать в клетку в результате диффузии. Напротив, для гидрофильных, особенно заряженных веществ, мембрана непроницаема. Однако во многих случаях именно такие вещества необходимы для функционирования клетки, поэтому в живых системах эволюционно сформировались специализированные транспортные системы для переноса таких веществ через мембрану.

Пассивный транспорт (пассивная или облегченная диффузия) происходит по направлению градиентов химического (электрохимического) потенциала, результатом чего является уменьшение градиентов концентраций, если нет других процессов, которые обеспечивают их поддержание на постоянном уровне.

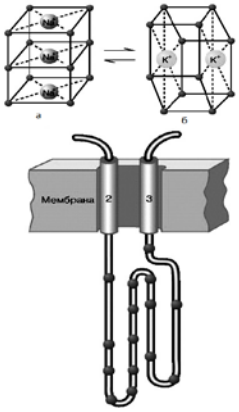


Рис. 2. а – ионы натрия, б – ионы калия, 2 – ферментационный центр натрия, 3 - ферментационный центр калия

Активным транспортом называют процесс переноса веществ или ионов против их концентрационных градиентов, который, так или иначе, обеспечивается энергией метаболических процессов. Активный транспорт бывает первично активным и вторично активным. В случае ионного транспорта, обеспечиваемого транспортными АТФазами (их называют также ионными насосами), энергодающей стадией является гидролиз АТФ.В большинстве случаев источником энергии для первично-активного транспорта ионов является АТФ. Вот почему большинство ионных насосов одновременно являются ферментами, гидролизующими АТФ, – АТФазами.Na/K-АТФаза пред-

ставляет собой сложный белок, встроенный в наружную мембрану клетки и имеющий центры связывания для ионов натрия и калия, а также активный центр, где осуществляются связывание и гидролиз АТФ.

Внутри клетки концентрация натрия почти в 10 раз меньше, хлорида (ионов хлора) — примерно в 5—10 раз меньше, а калия — примерно в 40 раз больше, чем в окружающей жидкости. Мембрана, толщина которой равна около 5 (нм), обладает высоким электрическим сопротивлением, малой и притом избирательной ионной проницаемостью и большой электроемкостью. Калий и хлор диффундируют через эту мембрану сравнительно легко, но ее проницаемость для натрия незначительна. Калий стремится просачиваться из клетки наружу, а натрий — внутрь. Вследствие избирательной проницаемости мембраны калий выходит наружу быстрее, чем натрий проникает внутрь, и это обстоятельство вместе с тем фактом, что отрицательно заряженные органические ионы не могут выходить из клетки, ведет к возрастанию электроотрицательности внутриклеточной среды. Достигнув определенной величины, внутренний отрицательный заряд начинает препятствовать выходу калия. Если бы ничто не противодействовало диффузии ионов, то ионные условия в конце концов изменились бы и пришли к новому равновесному состоянию. В действительности, однако, сохраняется стационарное состояние; это обусловлено работой механизма, получившего название натриевого насоса: он состоит в активном переносе ионов натрия изнутри наружу против концентрационного и электрохимического градиентов, за счет энергии, которую обеспечивают обычные метаболические процессы с участием АТФ, протекающие в нервной клетке. Натриевый насос можно «выключить», отравив клетку каким-либо ингибитором обмена, например цианидом [2].

Табл. 1. Концентрация ионов в клетке и во вне клеточной среде

Ионы	Концентрация ионов в цитоплазме (ммоль)	Концентрация вне клетки (ммоль)
K^+	140	2,5
Na^+	10	120
Cl^-	3-4	120
Ca^{2+}	<0,001	2

За полный гидролитический цикл происходят выброс из клетки трех ионов натрия, обогащение цитоплазмы двумя ионами калия и гидролиз одной молекулы АТФ. Так происходит активный транспорт ионов натрия из клетки и калия в клетку, а энергия АТФ тратится на оплату перехода фермента из одной конформации в другую. Таким образом, в ходе ферментативного процесса перенос ионов натрия и калия осуществляется одним и тем же ионным центром фермента, последовательно изменяющим свое сродство к переносимым ионам при изменении конформации Na/K-АТФазы [3].

Основываясь на выше изложенных данных о транспорте веществ в клеточных мембранах, механизмах возникновения потенциалов покоя и действия, был визуализирован процесс работы калий-натриевого насоса, используя программную среду Macromedia Flash Professional 8 [4].

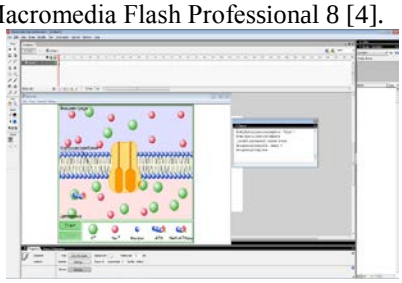


Рис. 3. Интерфейс программы Macromedia Flash Professional 8

Получившаяся флеш-анимация представляет собой визуализированную модель калий натриевого насоса.

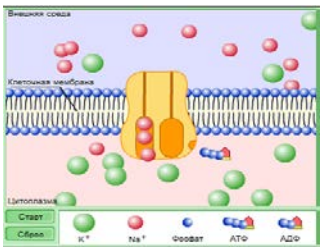


Рис. 4. Скриншот флеш-анимации, связывание ионов натрия, начало гидролиза АТФ

Рис. 5. Скриншот флеш-анимации, выход ионов натрия из клетки, связывание ионов калия

Данный метод может широко использоваться и для визуализации других процессов происходящих в живых организмах, молекулярной и атомной физики. Полученную таким образом флеш-анимацию можно использовать в качестве наглядной модели для демонстрации процессов происходящих в микромире в учебных целях.

Литература

1 Биомембранология / А.А. Болдырев, Е.И. Кяйвяряйнен, В.А. Илюха и др. – Петрозаводск: Изд-во Кар НЦ РАН, 2006.– с. 103-130.

2 Биологическая химия / Е.С. Северин, Т.Л. Алейникова, Е.В. Осипов и др. – Москва: Изд-во Медицина, 2000. – с. 89-120.

3 Молекулярная биология клетки / Б.Албертс, Д.Брей, Дж.Льюис, М.Рэфф. : В 3-х т. — 2-ое, переработанное. — М.: «Мир», 1993. —Т. 2. — 456с.

4 Macromedia Flash Professional 8 // Уроки по созданию флеш-анимаций. – 2009 – 2013. (Рус.) – URL: http://www.mac-flash.ru/flashanim.php [14.04.2013].

5 Данные для таблицы взяты из Биологическая химия / Е.С. Северин, Т.Л. Алейникова, Е.В. Осипов и др. – Москва: Изд-во Медицина, 2000. – с. 89-120.

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ CUBR-ЛАЗЕРА В МЕДИЦИНЕ

Горных Е.П.
Научный руководитель: Тригуб М.В., ассистент каф. ПМЭ
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30
Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, Россия, г.Томск, пл.Академика Зуева, 1
E-mail: dranik99@mail.ru

За последнее время во всем мире отмечается активный рост, как кожных заболеваний, так и онкологических. Одним из современных способов лечения является фотодинамическая терапия. Метод основан на взаимодействии светочувствительного препарата-фотосенсибилизатора, который чаще всего вводится в организм внутривенно, и света, определенной длины волны[1]. Фотосенсибилизатор поглощает часть энергии источника излучения, что приводит к фотохимической реакции с выделением цитотоксичных продуктов, основным из которых является синглентный кислород. Синглентный кислород химически очень активен, в его основную функцию входит окисление белков и других биомолекул, что ведет к фагоцитозу патологических клеток[2].

Еще одним из эффективных способов лечения является низкоинтенсивная лазерная терапия. Метод основан на взаимодействии лазерного излучения с тканями, при этом интенсивность излучения не должна вызывать деструктивных воздействий. Основным преимуществом данного метода является то, что ткани не подвержены прогреву от источников оптического излучения. Лазерное излучение воспринимают особые чувствительные молекулы, участвующие в поддержании равновесия внутри каждой клетки человека. После взаимодействия лазерного излучения и чувствительной молекулы в клетке активизируется обмен веществ и энергии, что дает ей возможность полноценно выполнять свои функции, а на определенном этапе развития делиться с образованием здорового потомства. Важность этих процессов переоценить невозможно, так как клетки являются строительным материалом организма и его основными функциональными единицами[3].

Взаимодействие такого источника и биотканей определяется длиной волны, интенсивностью лазерного потока, дозой излучения и временем воздействия на объект.

Низкоинтенсивная лазерная терапия имеет широкий спектр применения в гинекологических заболевания, лечении сердечно-сосудистой системы, заболеваниях желудочно-кишечного тракта и др. Как было сказано ранее, сосудистые заболевания с каждым годом прогрессируют. Патологии сосудов кожи имеют около 30% людей, при этом у 3% из них данные сосудистые дефекты являются врожденными [4].

В клинической дерматологии все чаще стали применять лазеры на парах бромида меди, это связано со спектром поглощения гемоглобина.

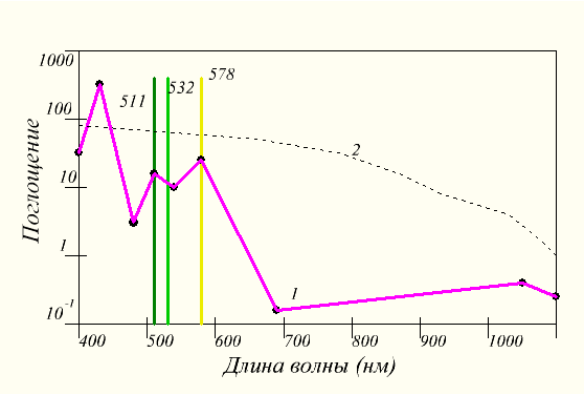


Рис. 1. Спектр поглощения света хромофорами кожи: (1) гемоглобин, (2) меланин.

Как видно на рисунке спектр поглощения гемоглобина имеет три пика и на двух из них генерирует лазер на парах бромида меди. Эти длины волн идеально подходят для лечения сосудистых заболеваний, при этом нет необходимости в использовании светочувствительных препаратов. Вода в этом диапазоне длин волн практически не поглощается [5].

Для использования в ФДТ и низкоинтенсивной лазерной терапии необходимо применение лазеров. К ним предъявляется ряд требований, обусловленных характером заболеваний и спецификой лечения [6].

Во-первых, прибор должен обладать определенной выходной мощностью, от 1 до 2,5 Вт. Данный параметр зависит от величины поражений ткани и времени отведенного на процедуру. При множественных, а в особенности - обширных поражениях кожи, низкая выходная мощность может приводить к затягиванию процедуры на многие часы, что не благоприятно сказывается на источнике излучении[7]. Помимо энергетических параметров, важное значение имеют оптические свойства пучка: равномерность распределения энергии по пучку, его диаметр, расходимость и др.

Во-вторых, у источника должен быть высокий ресурс (время наработки на отказ). Стоит отметить, что при весьма высоких ценах на лазерные установки себестоимость лечения резко возрастает именно за счет малого срока службы источника излучения[7].

Всем перечисленным требованиям вполне удовлетворят лазер на переходах атома меди, в частности на парах бромида меди, которые могут быть использованы не только как источники излучения, но и как приборы для визуализации

зон взаимодействия [8, 9]. Генерация происходит на двух спектральных линиях: зеленой с длиной волны 510,6 нм и желтой -578,2 нм. Это излучение испускается возбужденными атомами меди, когда они переходят из резонансного состояния в метастабильные состояния.

Отличительной особенностью данного лазера, как представителя газовых лазеров на атомарных переходах, является очень высокое качество пучка, близкой к дифракционному пределу. Достигнуть такого качества можно с использованием неустойчивого резонатора. На рис.2 представлена схема с неустойчивым резонатором.

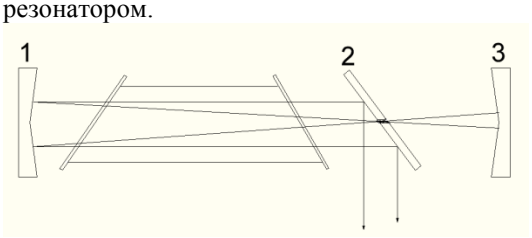


Рис. 2. Неустойчивый резонатор.
1,3- сферические зеркала с общим фокусом
2- зеркало с отверстием для выходного излучения

Исследования показали, что для получения от лазеров на парах металлов выходных пучков с хорошим дифракционным качеством, необходимо использовать неустойчивые резонаторы. Выходная мощность лазера с неустойчивым резонатором обычно меньше мощности, получаемой с устойчивым резонатором. Типичные значения: =(0,5-0,6). Несмотря на эти потери мощности, благодаря существенному повышению качества выходного пучка, плотность мощности в пятне фокусировки с использованием неустойчивого резонатора может на много порядков превышать плотность мощности, которая может быть достигнута с устойчивым резонатором[10].

Данный лазер эффективен для преобразования в красный диапазон с помощью ряда красителей.

Для эффективного использования лазеров на парах бромида меди в задачах медицины (низкоинтенсивная лазерная терапия и ФДТ) необходима разработка эффективного лазера, способного обеспечить требуемую энергию выходного излучения. При этом расходимость пучка должна быть минимальной, что может быть достигнуто применением неустойчивого резонатора. Возможность управления параметрами генерации также позволит расширить область использования данного типа лазера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солдатов А.Н. Гейниц А.В. Евтушенко В.А. Странадко Е.Ф. Реймер И.В. Вусик М.В. Лазерный медицинский комплекс для лечения онкологических заболеваний "ЛИТТ-ФДТ"// Сибирский онкологический журнал.-2009.-№1.-вып.31.-с.51-55.
2. Странадко Е.Ф. Армичев А.В. Гейниц А.В. Источники света для фотодинамической терапии//Лазерная медицина.-2011.-Т.15,вып.3.-с.63-69.
3. Низкоинтенсивные лазеры, научно-практический медицинский центр помощи детям: [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.npcmed.ru/roditeljam_article2.html, свободный - Загл. с экрана.
4. Хашукоева А.З. Свитич О.А. Маркова Э.А. Отдельнова О.Б. Хлынова С.А. Фотодинамическая терапия - противовирусная терапия? История вопроса. Перспективы применения// Лазерная медицина.-2012.-Т.16,вып.2.-с.63-67.
5. Сравнительный анализ лазерных аппаратов на бромиде меди: [Электронный ресурс]/ Режим доступа:http://www.bisonmedical.ru/products/cooper bromide/analiz-cubr/, свободный - Загл. с экрана.
6. Странадко Е.Ф. Основные этапы развития и современное состояние фотодинамической терапии в России// Лазерная медицина.-2012.-Т.16,вып.2.-с.4-14.
7. Источники излучения для ФДТ: [Электронный ресурс]/ Сайт содержит основную информацию о лазерной медицине - Режим доступа: http://lasermedicine.narod.ru/pdt/Supply/lasers.html, свободный - Загл. с экрана.
8. Trigub M. V. , Agapov N. A. , Evtushenko G. S. , Gubarev F. A. a Computational Algorithm for Designing an Active Optical System with an Image Intensifier // Russian Physics Journal. - 2013 - Vol. 56 - №. 5. - p. 588-591
9. Евтушенко Г. С. , Тригуб М. В. , Губарев Ф. А. , Торгаев С. Н. , Шиянов Д. В. Макет лазерного монитора на основе активной среды CuBr-лазера для контроля и диагностики // Контроль. Диагностика. - 2013 - №. 13. - С. 42-45
10. Gubarev F.A., Troitskiy V.O., M.V. Trigub M.V. , Sukhanov V.B. Gain characteristics of large volume CuBr laser active media // Optics Communications Journal.-2011.- №.284.-p. 2565-2568

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

Григорьев М.Г., Турушев Н.В., Авдеева Д.К.
Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина 30
E-mail: Mishatpu@sibmail.com

Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от болезней сердца и сосудов каждый год в мире погибают более 17 миллионов человек. Более того, согласно прогнозу ВОЗ к 2030 году умрет ещё около 23,6 миллионов человек. В России, в 2012 году от сердечно–сосудистых заболеваний (ССЗ) погибли 1 млн. 232 тыс. 182 человека (Рис. 1)[1].

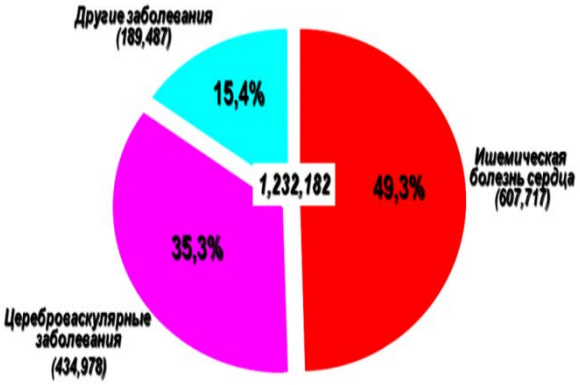


Рис. 1. Отчет ВОЗ по ССЗ за 2012 г.

Основным наиболее распространенным в медицинских учреждениях различного уровня является электрокардиографический (ЭКГ) метод исследования состояния сердечно-сосудистой системы человека. ЭКГ метод является методом функциональной диагностики с количественной оценкой результатов исследования. Впервые кардиографические исследования были проведены в конце 19-го века шотландским ученым Александром Мьюхэдом [2]. Тело представляет собой объемный проводник. Активная работа сердца приводит к генерации электромагнитного поля, которое может быть измерено на поверхности тела. Это поле в ходе возбуждения сердца постоянно меняется и характеристики этого поля в каждый момент времени зависят от того, в каком направлении движется по сердцу волна возбуждения. Изучение этого поля позволяет судить о последовательности возбуждения предсердий и желудочков.

Решением данной проблемы занимается множество предприятий, но особого успеха добились лишь единицы.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют аппаратно-программные комплексы (АПК) для массового применения (в отделениях функциональной диагностики и кардиологии, в стационарах, в поликлиниках и медико-санитарных частях, в машинах скорой помощи, а также в частной медицинской практике, в домашних условиях, в постоянно носимых аппаратах) с целью неинвазивного углубленного исследования сердца путем регистрации низкоамплитудных потенциалов сердца с поверхности тела человека без процедуры осреднения кардиоциклов и фильтрации. Подобные аппараты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Название фирмы	Кол-во отведений	Уровень сигнала, мкВ	Частотный диапазон, Гц	Цена, тыс. руб
Геолинк-Электроникс (Россия)	3	6	0,03-10,0	270
Rozinn (США)	3	8	0.05-70	385
OXFORD (Англия)	3	5	0,05-100	400
ФГБОУ ВПО НИ ТПУ (Россия)	3-12	0,3	0-10000	<50
Davis Medical Electronics Inc. (США)	3-12	2	0.05-60	227
HELLIGE (США)	3-12	5	0,05 -100	417
CardioMem CM 3000 (Германия)	3	8	0,03-70	160
Scan Tech Medical, LLC (США)	3	6	0.05-100	163

Как видно из таблицы, рыночная стоимость кардиографов известных компаний непомерно велика по сравнению с предложенным нами продуктом. Это связано с тем, что в устройстве используются разработанные нами наносенсоры, позволяющие без использования фильтров и осреднения получать сигналы нановольтового уровня.

Актуальным для совершенствования диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе и для ранней диагностики сердца взрослых, детей, младенцев и плода, является разработка нового поколения наносенсоров и компьютеризированной ЭКГ - аппаратуры высокого разрешения для применения в поликлиниках и в домашних условиях.

Для решения данной задачи необходимо исследование численной модели распространения возбуждения в сердечной мышце.

Возбуждение распространяется по сердечной ткани с определенной скоростью, различной для разных отделов сердца (рис. 2).

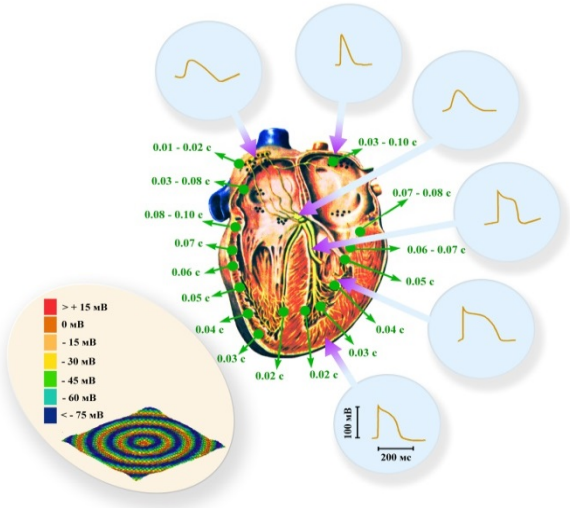


Рис. 2. Схема пространственно-временной организации нормальной работы сердца человека. Зеленые надписи и стрелки указывают время прихода волны возбуждения в данную область сердца. Голубые врезки показывают форму профиля бегущей волны (т.н. «потенциала действия») в разных областях сердца, обусловленную различием свойств элементовозбудимой среды, которую формируют ткани сердца. Бежевая врезка — нормальное распространение бегущей волны возбуждения из пейсмейкерной зоны в центре (синусового узла) в сторону краев (по рабочему миокарду) в простейшей имитационной математической модели [3].

В результате формируется пространственно временная организация возбуждения сердца, обеспечивающая его функционирование. При моделировании процесса распространения возбуждения необходимо учитывать все особенности организации возбуждения в сердце.

Для реализации моделирования процесса распространения возбуждения в сердце, в рамках концепции оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля предполагается разработка аппаратно – программного комплекса. Алгоритм работы АПК представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Алгоритм моделирования процесса распространения возбуждения в сердце.

Согласно алгоритму сначала на основе анализа кардиографической информации осуществляется задание начальных и граничных условий модели, затем определяются параметры модели для различных анатомических отделов сердца, и моделируется распространение возбуждения. По результатам моделирования осуществляется визуализация распространения возбуждения на поверхности сердца пациента.

Список литературы:

1. Сердечно - сосудистые заболевания. Информационный бюллетень N°317. // Сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html. – Загл. с экрана.
2. Alexander Muirhead // Wikipedia.com: [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Muirhead (дата обращения: 11.02.2014).
3. Сердце человека / / Wikipedia.ru: [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце_человека (дата обращения: 18.02.2014)

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ – КОМПЬЮТЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Дорошенко И.В.
Научный руководитель: Фокин А.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Doroshenko89.Irina@yandex.ru

Интерфейс мозг-компьютер (ИМК) подразумевает под собой анализ состояния активности головного мозга человека тем или иным способом, выявление информативных сигналов и формирование команд управления на основе собранной информации. Подобные интерфейсы, могут применяться для обеспечения взаимодействия с окружающим миром полностью парализованных людей (с так называемым locked-in синдромом), пациентам с тяжелыми формами церебрального паралича, пациенты с тяжелыми инсультами и травмами.

Современные разработки в этой области нацелены на широкий спектр применения — от определения степени усталости водителей и летчиков до измерения умственной нагрузки и стрессоустойчивости учащихся. Не только вождение инвалидами колясок, но и коррекция утраченного зрения, эффективное управление биопротезированными конечностями, все это становится возможным по мере развития нейрокомпьютерного интерфейса.

Все проекты интерфейсов мозг-компьютер можно условно поделить на интерфейсы для ввода (восстановление или замена поврежденных органов чувств) и вывода (управление протезами и другими устройствами). Еще один важный критерий, по которому можно разделить существующие разработки, - степень инвазивности, то есть, необходимость хирургического вмешательства. Во всех случаях прямого ввода данных необходимо производить операцию по вживлению в мозг или нервную ткань электродов. В случае вывода можно обойтись внешними датчиками для съема инфромации об активности головного мозга: например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Впрочем, ЭЭГ - инструмент достаточно ненадежный, поскольку кости черепа достаточно сильно ослабляют электроэнцефалографический сигнал и получить можно только очень сильно обобщенную информацию. В случае вживления электродов можно снимать данные непосредственно с нужных мозговых центров (например, двигательных), но такая операция связанна с риском осложнений.

В университетах мира разрабатываются разные способы реализации ИМК, основанные на разных методах снятия сигнала. От метода зависят пространственное и временное разрешения получаемой информации о состоянии мозга. К существующим методам измерения сигналов относятся: электроэнцефалография, магнитоэнцефалография (MEG), инфракрасная спектроскопия (NIRS), электрокортикография (ECOG), запись локальных потенциалов поля (LFP), запись с набора микроэлектродов (MEA), запись с микроэлектродов (ME), функциональная магниторезонансная томография (fMRI).

Существующие методы организации ИМК используют информацию либо об собственной электрической активности головного мозга (ЭКГ и т.п.), либо измеряют уровень оксигенации крови в различных областях головного мозга, (известно что активность нейронов в определенной области мозга влияет на кровенаполнения близлежащих тканей). Второй способ используется в фМРТ.

Нами предлагается разработка нового способа организации ИМК на основе электроимпедансных измерений.

Можно предположить, активность нейронов в определенной области головного мозга должна приводить к изменению сопротивления тканей в этих участках. Различные виды когнитивной деятельности должны приводить к активизации различных областей. Так как кровь имеет меньшее сопротивление, чем ткани мозга, то можно предположить возможность обнаружения областей активности головного мозга.

Существует метод, который позволяет проводить реконструирование изображения распределения сопротивления в биообъекте – Электроимпедансная томография (ЭИТ).

Этот метод позволяет проводить реконструкцию распределения проводимости внутри объекта на основе результатов электрических измерений на поверхности.

Если каждый электрод имеет площадь S, м2, контактное сопротивление Rc, Ом и через него проходит ток I, А, то полная модель измерения в электроимпедансной томографии выглядит следующим образом:

$$\nabla(\sigma\nabla\varphi) = 0;$$
$$V_{e1} = \varphi + R_{e1} + \sigma\frac{\partial\varphi}{\partial n};$$
$$I_1 = \int \sigma\frac{\partial\varphi}{\partial n}ds;$$
$$V_{e2} = \varphi + R_{c2} + \sigma\frac{\partial\varphi}{\partial n};$$
$$I_2 = -\int \sigma\frac{\partial\varphi}{\partial n}ds;$$
$$I_1 + I_2 = 0; \qquad (1)$$

где σ– удельная проводимость, См/м, V_e – напряжение на электроде относительно нуля, вольт, потенциал электрического поля. Нижние индексы относятся к номеру электрода в паре. Для

измерительных электродов модель будет такой же, но ток I будет равен нулю, соответственно, подинтегральные выражения в (1) тоже будут равны нулю.[1]

Выражение (1) − это постановка прямой задачи электроимпедансной томографии – позволяющее найти распределение потенциала электрического поля при заданном распределении проводимости и расположении электродов, подводящих ток.

Для решения прямой задачи необходимо разработка модельного распределения проводимости исследуемого объекта. Сама задача решается численными методами.

Разработанная нами структурная схема для ИМК на основе ЭИТ представлена на рисунке 1.

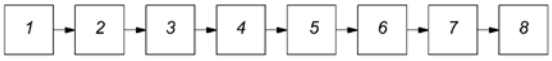


рис.1. Структурная схема

Структурная схема включает в себя:

1- Задающий источник тока [2].
2- Электроды через которые подается задающий ток.
3- Биологический объект
4- Измерительные электроды
5- Предварительный усилитель сигнала
6- Выпрямитель-демодулятор
7- АЦП и цифровой фильтр
8- Компьютер

Для воздействия на биологический объект требуется источник гармонического тока (частота 100 кГц, амплитуда тока 1мА), электроды через которые подается ток, а также электроды которые принимают измеряют результирующее напряжение на поверхности объекта. После предварительного усиления и демодуляции значения измеренного напряжения поступают на АЦП и передаются для анализа на компьютер. Зная распределение напряжения на электродах и задающих ток, с помощью известных методов ЭИТ можно восстановить картину сопротивления внутри объекта.

На данном этапе была разработана и рассчитана электрическая принципиальная схема устройства и проведено моделирование системы в программе Proteus Professional для проверки расчетов. Основной проблемой является то что необходимо регистрировать очень маленькие изменения сопротивления на фоне большого основного (базовое сопротивление около 1кОм, теоритическое изменение этого сопротивления менее 1 ома). Кроме того необходимо учитывать множество факторов могут влиять на результат измерения, и приводящих к погрешности измерения.

Дальнейшая работа предлагает постановку экспериментов по выявления изменений проводимости в процессе активности головного мозга. На первом этапе предполагается зафиксировать реакцию мозга на предъявления аудио и визуальных стимулов.

Существующие неинвазивные методы организации ИМК требуют либо дорогой и громоздкой аппаратуры (ФМРТ), либо не позволяют выделить участки активности головного мозга. Например, ИМК на основе измерений ЭЭГ как правило формирует команды на основе различения альфа и бета ритмов активности головного мозга.

По сравнению с фМРТ метод потенциально позволяет проводить визуализацию активности головного мозга гораздо более дешевыми и компактными средствами. Хотя разрешающая способность получаемых изображений конечно на несколько порядков меньше.

В цикл BCI входят следующие фазы: измерение, обработка, извлечение маркеров, прогнозирование, формирование выходного сигнала. Выходным сигналом может быть управление внешним устройством, набор символов, аудио сигнал и т.д. Технически для создания интерфейса на базе ЭИТ требуется разработка оборудования для снятия сигнала с возможностью подключения к персональному компьютеру и разработка программного обеспечения, производящего фазы обработки, извлечения маркеров, прогнозирования и формирования выходного сигнала.

Список литературы:

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С., Усов В.Ю., Плотников М.П., Уманский О.С. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во «НТЛ», 2004. 192 с.
2. Источник тока для электроимпедансной томографии. Фокин А.В., Бразовский К.С. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 4. С. 99-101.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНО И ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ПРИ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Епифанцев В.В.
Научный руководитель: Устюжанин В. А., к.т.н., доцент
Забайкальский государственный университет, Россия, г.Чита, ул. Александро-Заводская, 30
E-mail: evven86@mail.ru

В последнее время для решения задач, повышения информативности и безопасности методов исследования человеческого организма, все более широкое применение стали находить импедансные методы для оценки состояния биологических объектов, основанные на измерении электрических параметров биообъектов при пропускании через них электрического тока. Главными достоинствами данных методов являются простота реализации метода, низкая стоимость аппаратуры, оперативность использования и безопасность для здоровья человека.

Одним из приоритетных направлений биоимпедансометрии является метод электроимпедансной спектрометрии, который основывается на измерении и анализе зависимостей импеданса от частоты переменного тока. Разные объекты и процессы характеризуются разными зависимостями активного и реактивного сопротивления от частоты, что делает возможным решение обратной задачи - получение информации об этих объектах и процессах путем анализа частотных характеристик их отклика на переменном токе.

Очевидно, что проводя измерения импеданса биологического объекта, информативность исследования будет зависеть от количества каналов прохождения зондирующего тока на исследуемом объекте, количества самих измерений и времени их проведения. Другими словами, чем больше полезных измерений за наименьший промежуток времени мы можем произвести, тем информативней будет результат.

В связи с тем, что в электроимпедансной спектрометрии в качестве зондирующего используется набор сигналов различных частот, который требует дополнительных временных затрат на переключение частоты при каждом измерении, возникает необходимость выбора между количеством измерений и временем их проведения необходимых для оптимальной результативности исследования.

Альтернативой используемому сигналу может служить смешанный сигнал сложной формы несущий в себе необходимое количество частотных составляющих. Использование такого сигнала позволяет существенно увеличить число возможных измерений за малый отрезок времени. Например при использовании шестнадцати электродов, где функцию зондирующего в течение цикла измерения выполняет каждый из них, время всего исследования составит менее 0,1 с.

К недостаткам смешанного сложного сигнала можно отнести наличие дополнительных артефактов в связи с процедурами его формирования и обработки. Мы провели сравнительный анализ результатов моделирования прохождения сигнала сложной формы и последовательного набора сигналов разных частот через эквивалентную электрическую схему биологического объекта.

Сигналы сложной формы - несут в себе известное количество различных гармоник в определенном диапазоне частот. Спектр такого сигнала будет предсказуем и более информативен.

Рассмотрим следующую схему измерения импеданса биологического объекта, такая схема называется потенциометрической (рисунок1).

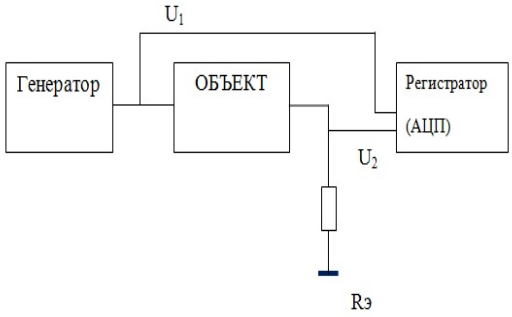


Рисунок 1. Схема измерения. Rэ – эталонное (известное сопротивление), регистрация сигнала осуществляется многоканальным высокоскоростным АЦП. Ток, протекающий через объект и Rэ, одинаков.

Для данной схемы имеем:

$$U_1 = U_0 \sin(\omega t)$$

тогда

$$U_2 = U sin(\omega t + \varphi);$$

где U_0, U – амплитудные значения регистрируемых сигналов, ω - циклическая частота, $\omega=2\pi f$, где f – частота колебаний в Гц, t – время процесса.

U – соответствует падению напряжения на резисторе Rэ.

Протекающий ток можно представить в виде:

$$I = \frac{U}{R_Э}\sin(\omega t + \varphi)$$

Зная потенциалы на границах объекта, и протекающий ток, мы можем вычислить импеданс Z который будет иметь следующий вид: Z=R+iX; где R – активная, X – реактивная составляющие импеданса.

Так как регистрация напряжений происходит с помощью АЦП, данные представлены в дискретном виде. Для представления регистрируемых напряжений и вычисленного массива тока и импеданса в комплексной форме необходимо выполнить дискретное преобразование Фурье.

При моделировании использования различных вариантов зондирующего тока в качестве объекта (рисунок 1) мы использовали следующую эквивалентную схему замещения биологической ткани (рисунок 2).

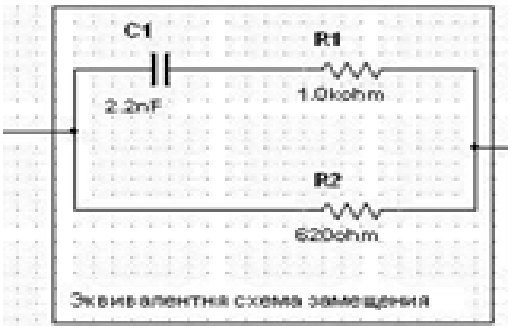


Рисунок 2. Эквивалентная схема замещения биологического объекта.

Данная схема в полной мере отражает электрические свойства биологического объекта. С помощью цифрового двухканального осциллографа производилась одновременная регистрация напряжения на границах данной эквивалентной схемы замещения, затем полученные данные импортировались в MatLab для дальнейшей обработки.

В первом случае для выявления частотной зависимости мы использовали коммутацию на источники сигналов разной частоты, а именно 50, 150, 350 и 500 кГц, нами проводилось измерение импеданса на каждой из частот в отдельности. Во втором случае использовался сигнал сложной формы, представляющий собой сумму всех четырех сигналов, данную сумму мы можем представить в виде:

$$U=U_0(\sin(2\pi f_1 t)+\sin(2\pi f_2 t)+\sin(2\pi f_3 t)+\sin(2\pi f_4 t))$$

Сравнивая результаты, полученные с помощью двух экспериментов, мы получили, что максимальное расхождение результатов составило 4,75% для частоты 350 кГц, среднее расхождение результатов равно 1,4%. Среднее расхождение (погрешность измерения) с теоретическими результатами для эквивалентной схемы замещения, используемой в обеих моделях, составило: последовательные измерения - 3,07%, сигнал сложной формы - 3, 76%

Столь небольшая разница в результатах, сопоставимая с инструментальной погрешностью измерения, показывает допустимость и явные преимущества использования сигналов сложной формы в качестве зондирующего тока при проведении электроимпедансометрии и позволит использовать его для оценки состояния биологической ткани после травматических воздействий, в частности обморожений; для проведения исследований лейкоцитарной массы крови, а также исследования других биологических тканей. На основании этих экспериментов планируется разработка специализированных диагностических приборов.

Литература

1. А.В.Смирнов, А.А.Цветков, С.А.Туйкин. Методы и аппаратура электроимпедансной спектрометрии. // Сборник трудов восьмой научно-практической конференции "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы". 22 марта 2006 г., Москва, с.26 - 30.

2. Бобохонова А.С., Хеймец Г.И., Атауллаханова Д.М., Николаев Д.В., Ощепкова Е.В., Рогоза А.Н. Диагностика гипертрофии миокарда левого желудчка сердца с учетом данных биоимпедансного анализа. Главный клинический госпиталь МВД России. 2006. М. Восьмая научно–практическая конференция. С.156–161.

3. Николаев Д.В., Смирнов А.В, Тарнакин А.Г., Гвоздикова Е.А. Применение биоимпедансных технологий в медицинской практике . // Сборник трудов четвертой научно-практической конференции "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы" 23 марта 2002 г., Москва, с.198-204.

4. S. Grimnes, O.G.Martinsen. Bioimpedance and bioelectricity basics. - Academic Press, 2000, - 360 pp.

ВОЗМОЖНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЫХЛОСТИ КОЖНОГО ПОКРОВА МАЛОЙ ПЛОЩАДИ

Белавская С.В., Жумантаева Н.А., Коробченко А.С.
Научный руководитель: Лисицына Л.И., д.т.н., профессор кафедры электронных приборов
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: nabat-ps@mail.ru

Одним из перспективных методов диагностики заболеваний человека является метод диагностики по параметрам кожного покрова малой площади, например, биологически активных точек (БАТ). БАТ характеризуются как электрическими, так и физическими параметрами, причем, чем больше параметров БАТ анализируется, тем точнее можно выставить диагноз.

В настоящее время исследователями изучаются такие параметры БАТ, как импеданс кожного покрова, температура, потенциал, магнитная индукция и др. В [1] отмечено, что кожный покров в области БАТ характеризуется более рыхлой соединительной тканью. Однако в доступных литературных источниках не найдено упоминаний о количественной оценке рыхлости кожного покрова. В медицинской литературе термин «рыхлость эпидермиса» упоминается как качественная оценка состояния кожного покрова, например, в [2]. В данной работе рассматривается возможность количественной оценки рыхлости кожного покрова малой площади с помощью ультразвуковых (УЗ) колебаний (в качестве источника УЗ-колебаний используется пьезокерамика), отраженных от границы раздела пьезокерамика – кожный покров.

Использование отраженных УЗ-колебаний в диагностике основано на коэффициенте отражения ($R_{отр}$) их от границы раздела сред. Отражение УЗ-энергии зависит от удельного акустического сопротивления (ρc) этих сред [3]:

$$R_{отр} = \left(\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2 / \rho_1 c_1 + \rho_2 c_2\right)^2 \qquad (1)$$

где, индексы 1 и 2 указывают, к какой среде относятся значения плотности среды (ρ) и скорости звука (c).

В зависимости от среды, контактирующей с пьезопластиной, число отраженных колебаний будет различным [3]. Чем больше воздушного пространства окажется в контакте с пластиной, тем большей амплитуды сигнал будет наблюдаться на приемнике. Значит, возможна оценка состояния кожного покрова по величине падения напряжения на пьезопластине (чем более рыхлый кожный покров, тем больший процент воздушного пространства).

Для расчета коэффициента отражения для разных границ раздела в таблице 1 приведены параметры исследуемых материалов.

Используя данные таблицы 1, рассчитаны коэффициенты отражения от разных границ раздела (таблица 2).

Таблица 1. Параметры используемых материалов

Материал	ρ, кг/м^3	с, м/с
Керамика	7000	3000
Воздух	1,29	342
Биологическая мягкая ткань (кожный покров)	1000	1500
Гель	900	1400

Таблица 2. Коэффициенты отражения УЗ от разных границ раздела и величины падения напряжения на пьезопластине ($U_{ПП}$)

Граница раздела	$R_{отр}$	$U_{ПП}$, В
пьезопластина – воздух	0,98	20
пьезопластина – гель	0,79	16
пьезопластина – кожный покров	0,76	18

В [4] представлена простейшая электрическая схема подобных измерений.

В исследованиях использовались:

- пьезокерамика ЦТС-19 (цирконат титаната свинца), толщина пластины –1,5 мм, размеры – 3 × 5 мм;
- генератор сигналов низкочастотный Г3-112;
- осциллограф цифровой GDS-840C;
- резистор марки МЛТ с номинальной мощностью 0,25 Вт, электрическим сопротивлением 1 кОм и собственной емкостью 0,3 пФ [5].

Максимальная амплитуда сигнала генератора – 17,2 В, частота – 0,5 МГц.

Оценку изменения отраженного ультразвукового сигнала можно провести как по изменению амплитуды, так и по сдвигу фазы.

Для выбора методики получены осциллограммы сигнала выходного напряжения генератора и напряжения на пьезопластине для границ разделов пьезопластина – воздух и пьезопластина –кожный покров (рис. 1).

Анализ рис. 1 показывает, что амплитуда выходного напряжения на генераторе при изменении сред практически не изменилась, а амплитуда сигнала на пьезопластине изменилась с ~10,2 В до ~8,1 В, т.е. уменьшилось на ~20 %. На рисунке также видно, что имеет место смещение фазы. Для более точного определения смещения фазы получены осциллограммы сигналов в другом масштабе и показано, что при замене контакта пьезопластины с воздухом на контакт с кожным покровом смещение сигнала произошло на ~35 нс, что составило ~1 %.

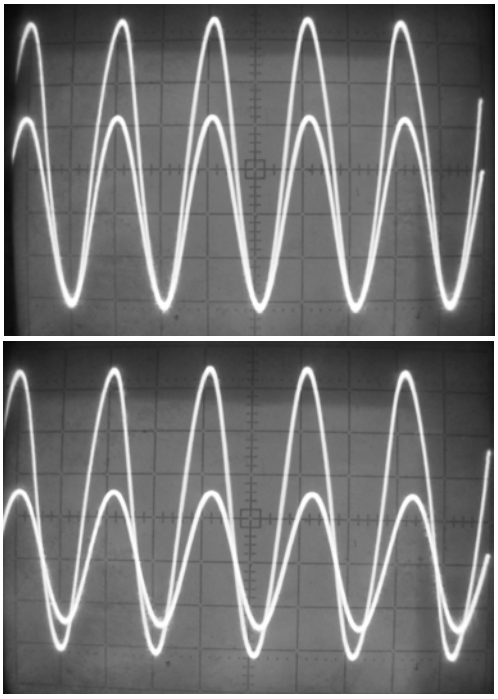


Рис. 2. Осциллограммы сигналов выходного напряжения генератора и напряжения на пьезоплатине для границ разделов: а) пьезопластина – воздух, б) пьезопластина – кожный покров (цена деления – 5 В)

Таким образом, проведенный анализ показал, что более предпочтительна методика оценки рыхлости кожного покрова малой площади по амплитуде сигнала.

Используя эту методику, получены значения падения напряжения на пьезопластине ($U_{ПП}$) при разных границах раздела (таблица 2).

Используя данные таблицы 2, можно получить отношения коэффициента отражения от границы раздела пьезопластина – гель, к коэффициенту отражения от границы пьезопластина – воздух ($к_1 = 0{,}8$) и отношение падения напряжений на пьезопластине при этих же границах раздела ($к_2 = 0{,}8$). Равенство коэффициентов $к_1$ и $к_2$ подтверждает правильность выбранной методики.

Для количественной оценки рыхлости кожного покрова введен коэффициент рыхлости ($К_Р$), который оценивается с помощью УЗ-излучения:

$$K_P = S_{Возд}/S_{Пл} = (S_{Пл} - S_{Ук})/S_{Пл}, \qquad (2)$$

где $S_{Возд}$ – площадь контакта рабочей поверхности пьезопластины с воздухом, $S_{Пл}$ – площадь пьезопластины, $S_{Ук}$ – площадь соприкосновения кожного покрова с пьезопластиной [6].

$К_Р$ рассчитан с использованием цифрового микроскопа DigiMicro LCD и программного пакета Adobe Photoshop CS5. В результате получена первичная зависимость $U_{ПП}$ от $К_Р$.

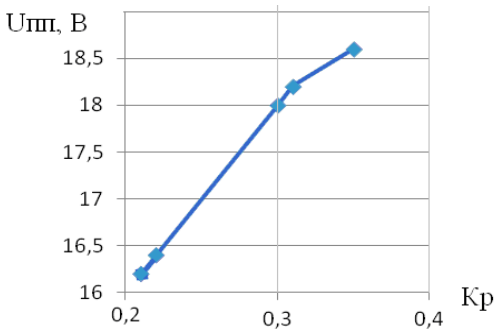


Рис. 2. Зависимость $U_{ПП}$ от $К_Р$

Таким образом, проведенные исследования показали возможность количественной оценки коэффициента рыхлости кожного покрова малой площади с помощью отраженного УЗ-сигнала от границы раздела двух сред.

Литература

1. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1987. – 352 с.
2. Кутасевич Я.Ф. Обоснование целесообразности использования препаратов наружного действия, содержащих фузидиевую кислоту, в педиатрической практике // Современная педиатрия. – 2010. – № 1(29). – С. 180–184.
3. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. – М.: Физматгиз, 1963. – 462 с.
4. Белавская С.В., Казанцева В.С., Лисицына Л.И. Функциональная схема прибора для оценки состояния кожного покрова малой площади с помощью ультразвуковых колебаний. // Материалы всероссийской научно-практической конференции. «Новые технологии – нефтегазовому региону». Т. 1. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С. 262 – 263.
5. Четвертков И.И., Терехов В.М.. – Справочник: Резисторы. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
6. Белавская С.В., Лисицына Л.И., Жумантаева Н.А., Казанцева В.С., А.Н. Кузьмин. Исследование возможности оценки рыхлости поверхности биологического объекта малой площади. // Материалы всероссийской научной конференции «Наука. Технологии. Инновации». Ч. 2. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2013. – С. 126 – 128.
7. С.В. Белавская, Н.А. Жумантаева, В.С. Казанцева, Е.А. Половинко. Исследование возможности количественной оценки рыхлости поверхности биологического объекта малой площади. // Материалы всероссийской научно-практической конференции. «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С. 273 – 276.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО РАСТВОРЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ

Иванова А.А., Киселева Е.Ю.
Научный руководитель: Киселева Е.Ю., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E – mail: eka.kiselyova@gmail.com

В настоящее время наблюдается тенденция к росту желчнокаменной болезни (ЖКБ). Причины увеличивающейся распространённости данной патологии до конца не установлены[1].

Среди основных причин увеличения ЖКБ выделяют: количественное и качественное нарушение питания, изменение образа жизни, гиподинамия, экологические факторы и др.Необходимость в избавлении больного от ЖКБ продиктована не только возникающими приступами желчных колик, но и опасностью возникновения тяжелых осложнений (острого холецистита, механической желтухи, деструктивного панкреатита и др.), которые могут потребовать срочного оперативного вмешательства, а при длительном течении основного заболевания развитием рака желчного пузыря[2]. Создание новой методики, улучшающей действие медикаментозного растворения конкрементов желчного пузыря, позволит:

1. уменьшить длительность курса лечения медикаментозными препаратами, тем самым снизив стоимость курса;
2. снизить риски при лечении ЖКБ по сравнению с оперативным вмешательством и литотрипсией;
3. уменьшить время токсического действия препарата.

Целью данной работы является:

Создание новой методики, улучшающей действие медикаментозного растворения конкрементов желчного пузыря при воздействии на него ультразвуковым излучением на различных значениях интенсивности и частоты.

Растворить холестериновые камни можно с помощью перорального приема препаратов желчных кислот. Урсодезоксихолевая кислота уменьшает секрецию холестерина с желчью в основном вследствие подавления всасывания его в кишечнике.

Хотя урсодезоксихолевая кислота обладает слабой поверхностной активностью, необходимой для растворения холестерина, тем не менее, хорошо диспергируется в желчи в виде везикул, что предотвращает его кристаллизацию и способствует растворению образовавшихся кристаллов.[3]

В связи с тем, что длительность медикаментозного лечения достаточно большая (до нескольких лет), нами была разработана методика ультразвуковой интенсификации медикаментозного растворения конкрементов с присутствием холестерина.

Для реализации исследования необходимо было разработать реальную модель. Для этого использовались латексная оболочка (вместо свиного желчного пузыря), свиная желчь, свиная печень, свиная кожа с жировой прослойкой и конкремент из желчного пузыря человека, удаленный хирургическим путем.

В латексную оболочку (2)помещался конкремент(1) желчного пузыря человека, 250 мг урсодезоксихолевой кислоты, содержащейся в одной капсуле препарата УРСОСАН и 50 мл свиной желчи(скорость ультразвука в латексе 1600-2100 м/с, что соответствует скорости ультразвука в биологических тканях). Далее все это помещалось в свиную печень(3)и сверху накрывалось свиной кожей с жировой прослойкой(4).

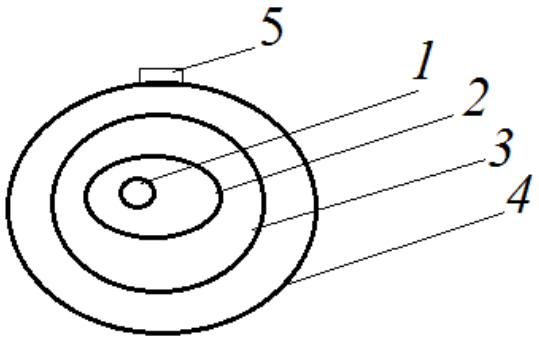


Рис 1.Схема эксперимента

На поверхность кожи в области желчного пузыря, где располагался конкремент, подводилось ультразвуковое воздействие ультразвуковым излучателем ИУТ 0.88-1.05Ф ультразвукового терапевтического аппарата УЗТ-1.07Ф(5) .

Исследования были проведены при непрерывном режиме работы с интенсивностями воздействия 0,1 Вт/см^2 и 0,4 Вт/см^2 время каждого исследования 30 мин.

Затем через каждые 30 минут воздействия ультразвукового излучения при интенсивностях 0,1 Вт/см^2 и 0,4 Вт/см^2 проводились измерения следующим образом: ультразвуковое воздействие отменялось, желчный пузырь с конкрементом извлекался из оболочки, образованной свиной кожей и печенью. Для улучшения ультразвукового контакта пузырь помещался в стакан с водой, и

проводились измерения линейных размеров конкремента с помощью портативного ультразвукового сканера SonoScape SSI-600 с конвексным датчиком C361 5-2 МГц

Всего было исследовано 30 камней различного диаметра. Из них 10- при интенсивности воздействия 0,1Вт/см^2;6- при интенсивности 0,2 Вт/см^2;6 –при интенсивности 0,3 Вт/см^2;5- при интенсивности 0,4 Вт/см^2 и 3 камня при интенсивности воздействия 0,5Вт/см^2.

Табл. 1. Исследования в непрерывном режиме работы аппарата УЗТ -1.07Ф при интенсивности 0,4 Вт/см^2.

Время, мин	Размер камня 1, мм	Размер камня2, мм	Размер камня3, мм	Размер камня4, мм	Размер камня5, мм
30	15	12	15,2	8,1	17
60	12	10,2	12,7	6,4	15
90	9	9,6	9,3	5,4	12
120	7	8,54	7,4	3,2	10,5
150	5	6,32	5,54	2,5	9
180	4	4,12	4	2,3	7
210	3	2	3,3	2	5,5
240	2	2	2	2	5
270	2	2	2	2	4,5

Исследования были проведены при непрерывном режиме работы с интенсивностями воздействия 0,1 Вт/см^2 и 0,5 Вт/см^2; время каждого исследования 30 мин.

В качестве «золотого стандарта» использовались данные полученные от камня (D=5,41мм), не подвергавшемуся ультразвуковому воздействию, только медикаментозному.

Контрольный камень перешел в состояние мелкодисперсной пыли за 78 часов. Такое достаточно быстрое по сравнению с реальными пациентами растворение камня можно объяснить наличием в модели постоянной концентрации препарата, что в реальных условиях не наблюдается.

Увеличение интенсивности излучения влияет на скорость растворения только при растворении больших камней диаметра до 5мм. Далее наблюдается одинаковая скорость растворения, что связано с уменьшением площади поверхности контактирования конкремента с желчью и медикаментозным препаратом.

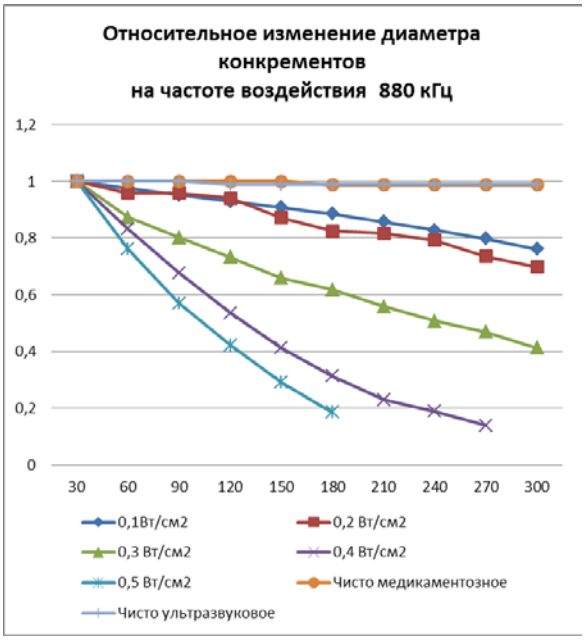


Рис.2 Относительное изменение конкрементов на частоте воздействия 880 кГц

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что наибольшая скорость растворения конкремента наблюдается при интенсивности 0,5 Вт/см^2. Однако, из-за наличия термического поражения тканей наиболее оптимальным диапазоном интенсивностей является интенсивность от 0,3 до 0,4 Вт/см^2.

Частота ультразвукового воздействия влияет на скорость изменения конкремента. Наибольшая скорость растворения наблюдается на частоте 880 кГц.

Список литературы

1. Сиюхов Р.Ш. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ). Клиника 23 Ru. http://www.klinika23.ru/gastroent/GKB.html – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

2. Желчнокаменная болезнь и холецистит (Лекция) / П. С. Ветшев // Клинические перспективы гастроэнтерологии, гепатологии . — 2005 . — N 1 . — С. 16-23 .

3. Основывзаимодействия ультразвука с биологическими объектами Акопян В.Б., Ершов Ю.А. Издательство МГТУ, 2005, 224 с.

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ МЕТОД РАЗРУШЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ КОНКРЕМЕНТОВ КРОВЕНОСНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Иванова Л.Ю., к.т.н., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: anlu009@rambler.ru

Образование органоминеральных конкрементов (ОМК) в кровеносной системе организма человека является достаточно распространенной проблемой. По данным ВОЗ, заболевания сердечно-сосудистой системы, приводящие к тотальной закупорке сосудов, являются причиной более 50% смертей в таких странах, как США, Россия, Германия и Великобритания [1].

Для решения данной проблемы интенсивно развиваются и внедряются в клиническую практику малоинвазивные и неинвазивные технологии. К неинвазивным технологиям, в первую очередь, относятся медикаментозное лечение и ударно-волновая терапия [2, 3]. Не смотря на то, что неинвазивные технологии не требуют хирургического вмешательства и исключают риск занесения инфекций в организм, они имеют множество недостатков, среди которых малая эффективность (медикаментозное лечение), длительность проведения терапии, большой риск осложнений, ограничения в использовании, сложность в эксплуатации и дороговизна [4, 5].

Альтернативными методами лечения больных с ОМК, являются малоивазивные хирургические процедуры с использованием эндоскопических устройств [6]. Благодаря активному внедрению эндоскопических методов в хирургию стало возможным сократить число открытых операций и уменьшить риск возникновения послеоперационных осложнений.

Среди малоинвазивных методов, имеющих возможность точной дозировки энергии, гибкие рабочие инструменты (зонды) малого диаметра, относительно низкую стоимость и высокую эффективность, обращают на себя внимание методы, основанные на разрушении конкрементов с помощью энергии электрического разряда. Однако, в кардиологии методы электроразрядной литотрипсии не используется по причине малой изученности.

Таким образом, целью данной работы является исследование возможности использования электроразрядного метода для разрушения тотальных коронарных окклюзий.

Техническая реализация метода

Для генерации электрических импульсов использовался генератор, на базе контактного электроимпульсного литотриптора [7].

Генератор высоковольтных импульсов состоял из зарядного устройства, накопителя и коммутатора энергии. В качестве зарядного устройства использовался источник высоковольтного напряжения, выполненный по схеме обратноходового преобразователя. Устройством накопления энергии являлась батарея высоковольтных керамических конденсаторы серии DHR. В качестве коммутатора использовался тиратрон с полым катодом типа ТПИ1-0,2к/12.

Технические параметры генератора, предназначенного для разрушения ОМК кровеносной системы, были использованы следующие:

- полярность импульса — положительная
- амплитуда импульса — от 3 до 10 кВ
- длительность фронта импульса — не более 50 нс
- энергия в импульсе — от 0,025 до 0,24 Дж

Передача импульсов напряжения от прибора к конкременту осуществляется посредствам передающего кабеля и зонда. В качестве передающего кабеля использован коаксиальный кабель типа РК-50.

Важным элементом прибора является зонд, поскольку от надежности его работы зависит эффективность разрушения ОМК. Зонд условно можно разделить на три части: высоковольтный разъем, передающую часть, головку зонда (рисунок 1).

Рис. 1. Зонд электроразрядного прибора: *1*- разъем, *2* - передающая часть, *3* - головка.

Основные требования, предъявляемые к материалам и конструкции зондов, были сформулированы исходя из технических и анатомических особенностей их использования (параметров передаваемых импульсов, способности прохождения через естественные каналы организма, биологической безопасности используемых материалов).

Высоковольтный разъем зонда был разработан с учетом требований надежности работы зонда и минимальных искажений формы передаваемого импульса.

В качестве передающей части использован коаксиальный кабель и полиимидный катетер, широко используемые в медицинских целях. Полиимидный катетер надевается на тело кабеля и используется в качестве элемента жесткости и

упругости и служит дополнительной электрической изоляцией зонда. Внешний диаметр полиимидного катетера и коаксиального кабеля был выбран исходя из требований совместимости работы с интродьюсерами (менее 1,2 мм).

При разработке принципиальной конструкции головки зондов для проведения процедуры дробления ОМК кровеносной системы за основу была выбрана конструкция зондов для проведения электроимпульсной литотрипсии [8]. Конструкция урологических зондов была преобразована с учетом требований, предъявляемых к кардиологическим эндоскопическим инструментам – смещен центральный электрод внутрь относительно края головки зонда для предотвращения ожога тканей, использовано сквозное отверстие для совместной работы с проволочным проводником катетеров.

Материалы и методы

Для исследования возможности применения электроразрядного метода для разрушения тотальных окклюзий, использовались модельные образцы ОМК кровеносных сосудов. Модельные образцы были изготовлены из смеси скорлупы куриного яйца, рубленного сырого мяса и желатина, поскольку данные компоненты максимально приближают модельную ситуацию с реальностью. Смесь помещалась в силиконовые трубки, имитируя тотальную окклюзию в кровеносном сосуде. При проведении экспериментов, модельные образцы размещали в кюветах с 0,9 % раствором *NaCl* (физиологический раствор).

Для оценки эффективности метода определяли количество импульсов, необходимое для разрушения модельного образца и суммарную энергию разрушения. В испытаниях использовались зонды с величиной смещения центрального электрода d = 0,4 и 0,7 мм. Зонды позиционировали перпендикулярно поверхности модельной окклюзии. На образцы воздействовали одиночными электрическими импульсами с энергией в импульсе от 0,04 до 0,1 Дж, выбранные ранее как наиболее оптимальные.

Результаты и выводы

Результаты исследования показали, что воздействие на образцы с энергий от 0,04 до 0,1 Дж позволяет пройти смоделированный пораженный участок сосуда для обеспечения кровотока. Для прохождения модельного ОМК протяженностью 70 мм, суммарно необходимо затратить не более 4,0 Дж (таблица 1).

В среднем зонды способны разрушить модельную окклюзию за 45 импульсов при энергии в импульсе 0,08 Дж. При этом надежность работы зондов остается стабильной 150-200 импульсов.

Таблица 1. Результаты разрушения модельных окклюзий

Величина d, мм	Суммарная энергия разрушения, Дж	Энергия разрушения,Дж
0,4	4,0	3,86±0,37
	3,6	
	4,0	
0,7	3,2	3,14±0,79
	2,7	
	3,68	

Таким образом, полученные результаты могут говорить о том, что разработанные зонды и электроразрядный метод в целом может быть применим для разрушения реальных ОМК кровеносных сосудов.

Список литературы

1. Лилли С. Л. Патофизиология заболеваний сердечно-сосудистой системы / С. Л. Лилли пер. с англ. под ред. Д. М. Аронова. – 2003. – 598с.

2. Атеросклероз. Современные представления и принципы лечения. Рекомендации ВНОК // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2009. - № 8. – Т. 67. – С. 84-96.

3. Абсеитова С. Р. Опыт лечения кардиологической ударно-волновой терапией больных ишемической болезнью сердца // Медицина. — 2005. — № 12. — С. 28–30.

4. Hamad A. Refractory angina pectoris: A therapeutic challenge [Electronic resource] / A. Hamad, C-M. Chow // J. Cardiology Rounds. – 2004. – Vol. 9, №2. – Mode of access: http://www.cardiologyrounds.ca/crus/cardiocdneng_0204.pdf

5. Umatoku T. Extracorporeal cardiac shock wave therapy improves left ventricular remodeling after acute myocardial infarction in pigs / T. Umatoku, K. Ito, K. Ade, K. Oi [et al.] // J. Coron. Artery Dis. – 2007. – Vol. 18, № 5. – P. 397–404.

6. Федоров И. В. Эндоскопическая хирургия / И. В. Федоров, И. Е. Сигал. Л. Е. Савин. – М. : Медиа. ГЭОТАР. – 2006. – 351 с.

7. Патент РФ № 2313306. Способ и устройство для интрокорпаральной литотрипсии / В. П. Черненко, В. М. Диамант, М. И. Лернер, С. Хачин, В. Хачин. Заявл. 20.05.2005. Опубл. 27.12.2007.

8. Научно-технические аспекты электроимпульсной дезинтеграции биологических органоминеральных конкрементов / Л. Ю. Иванова, М. И. Лернер, В. П. Черненко, С. В. Редькин // Биотехносфера. – 2012. – №5-6. – С. 27-33.

РАЗРАБОТКА РЕЖИМА РАЗМОРОЗКИ КРИОДЕСТРУКТОРА

Идимешева Н.Н.
Научный руководитель: Мутовин Ю.В., доцент
Научный консультант: Пайгин Д.В., зам.директора ЗАО “НПО”Никор”
ЗАО “НПО “Никор”, Россия, г. Томск, 2й пос. ЛПК
E-mail: innlaska@mail.ru

В настоящее время криохирургия получила широкое распространение. Это объясняется возможностью полного, безболезненного и бескровного разрушения заданного объема ткани, как на поверхности тела, так и в глубине практически любого органа без повреждения стенок крупных кровеносных сосудов. Метод прост, доступен и потому отличается высокой эффективностью. К тому же он дает хороший косметический эффект, не оставляя грубых рубцов после заживления очагов криодеструкции.

В кардиологии криохирургия используется для лечения аритмий. Операция криодеструкции делается на открытом сердце, а потому время операции критично. Можно выделить основные этапы работы прибора:

1. Подготовительный режим (в этот момент происходит достижение температуры – 60^0 С, при которой начинается разрушение патологических очагов аритмии)
2. Режим заморозки (глубокая заморозка достигается подачей в инструмент жидкого газа и испарения его в рабочей зоне)
3. Разморозка криоинструмента (производится подачей токов высокой частоты, включается автоматически после предыдущего режима)

Результаты деструкции биологической ткани зависят от нескольких факторов: уровня достигаемой температуры, скорости ее изменения в периоды охлаждения и отогрева, числа циклов криовоздействия, а также индивидуальных свойств тканей, главные из которых – величина теплопритока к инструменту и толерантность клеток к разрушению. Отсюда следует, что необходимо создать технические и методические средства, способные устанавливать необходимый тепловой режим и гарантирующие разрушение заданного патологического образования.

Требуется разработка такого режима разморозки, при котором возможна непрерывная работа кардиохирурга без больших перерывов на оттайку инструмента. При этом необходимо, чтобы не оставалось следов гипертермии.

Создан макетный образец аппарата для проведения операций криоаблации на сердце с автоматическим размораживанием инструмента, использующий для получения холода эффект Джоуля-Томсона (снижение температуры газа при резком его расширении). Прибор может работать от закиси азота (N_2O) и закиси углекислого газа (CO_2). Температура, достигаемая при использовании закиси азота - -80 ^{0}С, при закиси углекислого газа - -60^{0}С. Для быстрого оттаивания криоинтсрумента на его рабочую часть идет подача высокочастотного электрического сигнала. Мощность выходного импульса составляет 40 Ватт.

В качестве объекта использовалось свиное сердце. Под сердце ложился нейтральный электрод для нормальной работы аппарата при разморозке инструмента. Рабочая часть инструмента может иметь разную форму: сферическую, полусферическую и конусовидную. С их помощью производилось точечное воздействие на патологическую мышечную ткань. Диаметр рабочей торцевой части инструмента 15 мм, длиной 50 мм. Рабочая часть инструмента оборудована термодатчиком, позволяющим получить сигналы для регулирования и стабилизации температуры в заданных пределах. В качестве рабочего газа использовалась закись углекислого газа.

Подготовительный режим автоматически переходит в режим глубокой заморозки при достижении температуры – 55 ^{0}С. В среднем он занимает 10 секунд. Время деструкции задается врачом, обычно оно составляет 2 минуты. После заморозки начинается автоматически процесс размораживания рабочей части инструмента. В этот момент проводилось исследование зависимости времени разморозки от параметров электрического сигнала. Исследования проводились при разном времени деструкции – 30 секунд, 2 минуты, 3 минуты. Некоторые результаты исследования при времени деструкции 2 минуты приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы время разморозки велико и составляет в среднем 14 секунд. Требуется доработка данного режима. В ходе исследования выделены три основных этапа изменения параметров размораживающего сигнала:

- Выход в режим ограничения напряжения (Время, затрачиваемое на достижение выхода в ограничение напряжения, задается в системе управления и составляет 2 -3 секунды. На дисплее аппарата это видно, как резкое увеличение напряжения от 80 Вольт до 300 Вольт. Ток при этом остается постоянным около 70 мА. А мощность достигает своего максимума = 40 Вт).
- Режим ограничения напряжения (Напряжение держится примерно равным 300

Вольт. Мощность остается постоянной в пределах до 40 Ватт. Ток меняется незначительно, на 40% от своего первоначального значения.. Время нахождения аппарата в данном режиме составляет 6-10 секунд.).

- Режим ограничения мощности (При выходе прибора в данный режим напряжение уменьшается до 80 Вольт, а величина амплитуды тока увеличивается до 300 мА. Мощность не меняет своего значения. Время нахождения деструктора в ограничении мощности меняется от 4 до 10 секунд. В некоторых случаях данный этап отсутствует.).

Время каждого этапа можно сократить, за счет чего и общее время разморозки будет также уменьшено. На первом этапе время сокращается программно. Исключить данный этап совсем нельзя, так как аппарат не может мгновенно достигать напряжение в 300 Вольт. Оптимальное время составляет 2 секунды.

На втором этапе можно сократить время за счет увеличения амплитуды напряжения выходного сигнала.

Третьего этапа может и не быть, если достаточное количество энергии было подано на размораживаемый участок во время второго этапа.

Для уменьшения времени разморозки была увеличена мощность выходного электрического сигнала. Это можно сделать за счет увеличения числа витков выходного трансформатора в высокочастотном генераторе. Было дополнительно домотано 15 витков. Зависимость времени разморозки от параметров электрического сигнала после увеличения амплитуды выходного напряжения изменилась и некоторые данные эксперимента приведены в таблице 2. Время деструкции также изменялось в ходе эксперимента от 30 до 180 секунд. Данные в таблице приведены также после двухминутного воздействии.

В результате увеличения мощности размораживающего сигнала, время оттайки инструмента значительно сократилось (до 7 секунд). Трансмуральность при этом достигается хорошая, следы гипертермии отсутствуют. Эти данные на уровне результатов ведущих мировых производителей. [4] Эксперименты производились при постоянном потоке замораживания и постоянной мощности размораживания.

С помощью данного деструктора возможно проводить операцию на сердце без последующего тромбоза. Также возможно осуществить использование высокочастотного генератора в устройстве деструктора для монополярной и биполярной аблации. В таком случае аппарат возможно будет использовать как для радиочастотной, так и для криоаблации. Работа над созданием такого мультикомплексного прибора уже началась.

В настоящее время макетный образец деструктора находится на клинической апробации в «НИИ Кардиологии» (г. Томск), где непосредственно в операционных условиях рассматривается пригодность прибора к эксплуатации. При показании успешных результатов на практике криодеструктор будет запатентован фирмой «Никор» (г. Томск).

Список литературы:

1. Е.Е.Тюлькина, В.С.Моисеев, Ж.Д. Кобалова . Немедикаментозное лечение фибрилляции предсердий. Клиническая фармакология и терапия, 2002 г., 11 (4).

2. В.Н. Ардашев, В.И. Стеклов, В.П. Климов. Электрические методы катетерной аблации нарушений ритма сердца. Клиническая медицина 2001 г., №12.

3. А.С. Жигалкович. Фибрилляция предсердий. РНПЦ "Кардиология", Минск, 2010г.

4. http://www.atricure.com

Таблица 1. Зависимость времени разморозки от электрических параметров размораживающего сигнала. Время воздействия - 2 минуты. До увеличения амплитуды выходного сигнала.

t разм, сек	16	16	15	13	14	13	16	12	11
T,^{0}C	- 62	- 62	- 62	-61	-61	-62	-61	-60	-60
U, В	200	200	250	250	300	300	290	290	300
I, мА	100	100	110	100	120	120	100	100	120
P, Вт	35	35	36	35	38	35	35	35	38

Таблица 2. Зависимость времени разморозки от электрических параметров размораживающего сигнала. Время воздействия – 2 минуты. Амплитуда выходного напряжения увеличена до 350 В.

t разм, сек	7	8	6	7	8	9	7	6	8
T,^{0}C	- 62	-61	-63	-62	-61	-60	-62	-61	-62
U, В	310	300	320	310	290	280	305	315	300
I, мА	110	100	120	110	100	105	120	125	110
P, Вт	38	40	40	39	40	40	39	40	40

ПРЕДПОСЫЛКА К СОЗДАНИЮ ТОЧНОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕКА

Карпова Э.В.
Научный руководитель: Добро Л.Ф. к.п.н., доцент
Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
Email: dobro@phys.kubsu.ru

В последнее время известно много различных проектов, в рамках которых ведутся работы по созданию сложнейших математических моделей различных органов, частей живых организмов и человека, но ни одна из этих моделей не является моделью организма в целом.

Нейробиологи и программисты разработали метод моделирования и применили его на практике для анализа поведения простого организма, в дальнейшем эти разработки помогут создать точную модель функционирования человеческого организма.

Так, свободноживущую нематоду Caenorhabditis elegans используют в качестве модельного организма для исследования развития животных, поскольку она является одним из самых хорошо изученных живых существ [1].

За более чем 40 лет интенсивных исследований, раскрыты секреты ее генетики, физиологии, анатомии и поведения. Известно точное количество нервных клеток в ее нервной системе (302), синаптическая структура нервной системы, а каждый из ее нейронов полностью изучен электронно – микроскопически [2].

Общий план строения в основных чертах такой же, как и у большинства высших животных.

На рисунке 2 сделанном с помощью электронного микроскопа можно увидеть общее строение нематоды Caenorhabditis elegans [2].

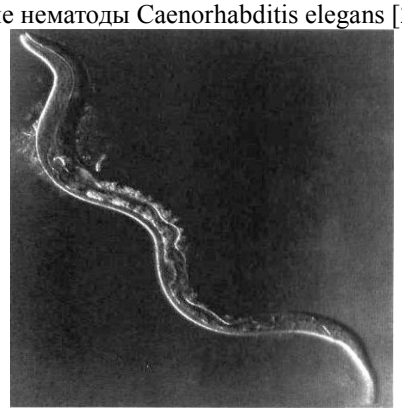


Рисунок 2 – Нематода Caenorhabditis elegans

Несмотря на простоту нематоды, смоделировать её поведение совсем не просто. Существует пять параллельных направлений работы: описание нервных связей на языке NeuroML, моделирующая платформа Geppetto, проект OpenWorm, моделирование гидромеханики и оптимизационный модуль. Разработчикам необходимо описать в формате NeuroML многосвязную сеть из всех 302 нейронов нематоды, включающую синапсы и ионные каналы каждого из них [1].

Язык NeuroML был создан на основе XML его основная цель – задать общий формат данных для описания и обмена моделей нервных и сетей. Создание модели происходит в три уровня: на первом этапе описываются морфологические аспекты нейрона (сома, аксоны, дендриты), на втором биофизические особенности структуры клетки такие как, строение и расположение ионных каналов, а так же параметры и математические модели, симулирующие поведение каналов во времени. На третьем, описывается расположение клетки и соединение клеток друг с другом [3].

3D оболочка искусственной нематоды была создана в популярной программе blender, которая содержит большое количество библиотек инструментов для моделирования.

Морфология нейрона была получена из Blender-файла путем трансформации данных в файле описаний нейронов в виде вершины и грани в NeuroML формат. Для решения этой задачи был написан специальный Parser, конвертирующий данные из Blender модели в NeuroML модель.

При анализе трехмерной модели было выявлено, что объекты представляют собой наборы вершин и граней; грани, в свою очередь, формируют форму нейрона.

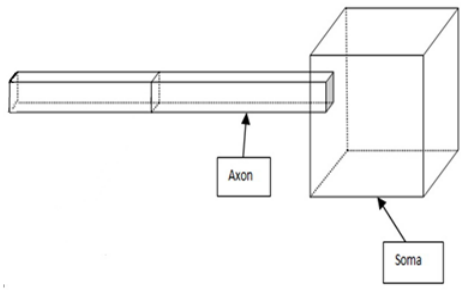


Рисунок 3 – На рисунке представлена упрощенная трехмерная модель нейрона

Как можно заметить из рисунка, все части нейрона построены из сегментов «параллелепипедов» разных размеров. Единственным способом отличить отросток от сомы является высота сегмента. Любые два сегмента соединяются «срезом» (slice). Алгоритм всегда стартует с поиска сомы. В коде программы это функция «find_point».

После того как мы нашли сому, берется центральная точка сомы, то есть центр масс.

iteration = 0

Далее алгоритм ищет ближайший slice для текущей центральной точки. Затем iteration += 1 center_point = центр найденного slice. Функция запускается рекурсивно с новым входным параметром center_point _slice = slice.

iteration!= 0

If in _slice = None инициализируем slice из vector_len collection.

Else _slice != None => slice = _slice

Find adjacent point for all point from slice.

Adjacent point collection содержит только те точки, которые не содержатся в checked points collection

Adjacent point collection может иметь 4, 6, 8 или более точек.

В первом этапе If 4 точки, то алгоритм нашел простой сегмент без ветвлений. В этом случае мы находим slice из 4-х смежных точек, затем находим новую центральную точку для полученного slice.

Текущая center_point = новой center point, iteration += 1, кладем вершины найденного slice в checked point collection, затем заново запускаем функцию find_point с новыми аргументами.

If точек > 4 point.

1. If входной аргумент isBranchStart = false, то алгоритм нашел ветвление. Алгоритм находит Slice1 и Slice2 при анализе adjacent points.

2. После определения центральных точек для найденных slice, вершины slice записываются в checked point collection, и запускается функция find_point с новыми аргументами для каждой новой center_point.

3. If был найден один slice And входной аргумент isBranchStart =true

Это значит, что алгоритм нашел первый сегмент после ветвления.

В этом случае мы создаем срез из смежных точек и находим для него center_point, кладем вершины найденного slice в checked point collection и запускаем функцию find_point с новым center_point.

4. If не нашелся ни один slice Or (If нашелся 1 slice And isBranchStart = false)

Это значит, что мы находимся в первой точке аксона или дендрита. В этом случае мы выбираем тот slice, периметр которого наименьший.

Считаем новый center_point, кладем вершины slice в checkedpoint, запускаем функцию find_point с новым значением center_point [4].

На выходе получаем набор центральных точек, который определяет ход нейрона.

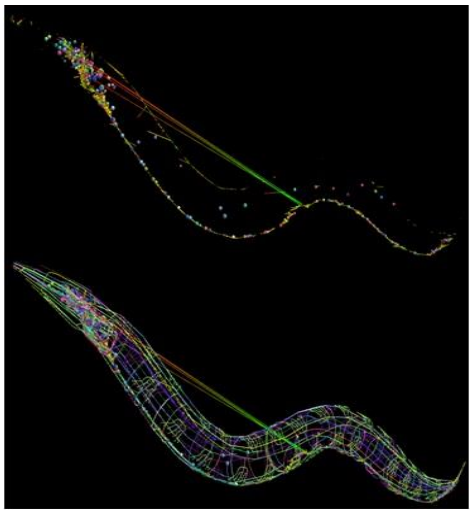


Рисунок 4 – Смоделированная нематода elegans

На нынешней стадии проекта готова предварительная демонстрация, показывающая работу пяти мышечных сегментов тела нематоды. Проект с открытым кодом OpenWorm, начатый Стивеном Ларсоном (Stephen Larson) в 2011, приближается к своему завершающему пункту. На рисунке 4 отображена смоделированная нематода Caenorhabditis elegans на нынешней стадии разработки [1].

Эта работа – первый шаг на пути создания виртуальных существ, точно имитирующих биологические организмы. Пока не создана компьютерная модель червя - хорошо изученного в биологии организма, трудно понять более сложные объекты - такие, как человеческий мозг.

Рассмотренное в этой статье открытие, связанное с созданием виртуальной нематоды, позволит в скором будущем приступить к созданию модели виртуального человека. Нейробиологи и программисты усовершенствуют математические модели, описывающие поведение нематоды, увеличат количество программируемых нейронных сетей, а более детальное изучение функции нейронов поможет ускорить процесс и избежать ошибок в построении модели «неживого» человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт разработчика проекта OpenWorm..URL:http://www.openworm.org[07 июня 2013]

2. База знаний по биологии человека. URL:http://humbio.ru/humbio/ssb/00004793.htm

3. Официальный сайт разработчика языка NeuroML.URL:http://www.neuroml.org

4. Официальный сайт разработчика моделирующего кода. URL:https://code.google.com/p/openworm

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ НОВОРОЖДЕННЫХ В ОТДЕЛЕНИИ РЕАНИМАЦИИ

Карякина О.Е., Русинова И.М., Карякин А.А.
Научный руководитель: Карякина О.Е., к.б.н., доцент
ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
163002, Россия, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17
E-mail: novogil@mail.ru

В настоящее время одной из основных задач в области педиатрии является сохранение и укрепление здоровья детей. Одним из критических периодов, во многом определяющих формирование здоровья детей, является ранний возраст. Необходимо отметить, что в последние годы в РФ имеют место рост заболеваемости детей раннего возраста, ухудшение показателей их физического и нервно-психического развития. Особенно это характерно для детей, родившихся недоношенными [1]. В последнее время большое внимание уделяется изучению состояния здоровья детей, родившихся с очень низкой и экстремально низкой массой тела. Благодаря достижениям в области интенсивной терапии значительно увеличилась выживаемость глубоко недоношенных детей с массой тела при рождении менее 1500 г. Недоношенность и перинатальные поражения во многом определяют дальнейшее развитие и формирование здоровья ребенка. Очень низкая и экстремально низкая масса тела при рождении у детей в раннем возрасте часто сочетается с повышенной заболеваемостью и функциональными нарушениями [2].

В этой связи для решения задач по выявлению факторов риска и оценки состояния детей особенно актуальным является возможность создания интеллектуальных систем для проведения ранней диагностики и осуществления оценки уровня здоровья и возможной продолжительности лечения новорожденных в реанимационном отделении.

Нами были проанализированы истории болезни 426 недоношенных новорожденных, находившихся на лечении в отделении реанимации Архангельской областной детской клинической больницы им. П.Г. Выжлецова за период с 2010 - 2013 год. В среднем ежегодно в отделении проходят лечение 211±13 новорожденных: 35% новорожденных поступают в отделение реанимации с 1 степенью недоношенности, родившиеся на сроке 35 – 37 недель, 13% с 4 степенью, родившиеся раньше 29 недель беременности. Среди новорожденных с 4 степенью недоношенности 67% младенцев были рождены у женщин в возрасте 31-40 лет, 22% - у женщин моложе 20 лет. Это подтверждает известные факты о том, что возраст матери является одним из основных факторов риска состояния здоровья детей. Кроме того были выделены причины тяжелых состояний недоношенных новорожденных. Более половины новорожденных (55%) в очень тяжелом состоянии рождаются с внутриутробными пороками развития, значительный процент (18%) приходится и на сердечную недостаточность. У детей, находящихся в состоянии средней тяжести, отмечена дыхательная и сердечная недостаточность, инфекционно-токсические состояния и врожденные заболевания, частота встречаемости которых практически одинаковая (24%). Наиболее часто у новорожденных в тяжелом состоянии встречаются дыхательная недостаточность и инфекционно-токсические состояния (51% и 28% соответственно).

В настоящее время в отделении реанимации новорожденных в своей работе врачи руководствуются шкалой «SNAPPE-II», которая позволяет оценивать риск летальности по 9 входным параметрам. Использование указанной шкалы ограничено в связи с трудностью определения ряда показателей у новорожденных и необходимостью проведения дополнительных диагностических исследований. Кроме того оценка по шкале «SNAPPE-II» возможна только для новорожденных с экстремально низкой массой тела, для всех остальных степеней недоношенности она не применима. Потому создание прогностической шкалы оценки состояния здоровья новорожденных всех 4 степеней недоношенности на основе учета известных факторов риска, является актуальным.

В результате выполнения многомерного статистического анализа были выделены следующие наиболее значимые факторы риска состояния здоровья новорожденных: степень недоношенности, паритет беременной, возраст матери, срок гестации, диагноз и состояние ребенка при рождении (табл.1).

Таблица 1. Градация значений факторов риска, в баллах

Фактор	Градация	Балл
Степень недоношенности (по массе новорожденного)	2001 - 2500 г	1
	1501 – 2000 г	2
	1001 – 1500 г	3
	<1500 г	4
Паритет беременной	1 - 6	1
	3 – 6	2
	> 6	3
Возраст матери, лет	младше 20	4
	21 – 30	1
	31 - 40	2

	старше 40	3
Срок гестации, недели	< 28	4
	29 – 30	3
	31 – 34	2
	35 - 37	1
Диагноз при рождении	дыхательная недостаточность	3
	неврологическая патология	3
	родовая травма	1
	сердечная недостаточность	2
	инфекционно-токсические состояния	4
	врожденные заболевания и синдромы	2
Состояние при рождении	удовлетворительное	1
	средней тяжести	2
	тяжелое	3
	очень тяжелое	4

Показатели исходной базы данных были преобразованы в матрицы ранговых оценок. Далее с учетом весовых коэффициентов на основании полученных матриц были рассчитаны значения целевых функций, которые количественно отражают степень влияния факторов риска на длительность восстановления новорожденных. Значение целевых функций рассчитывали по формуле (1):

$$T_k = \sum W_k \cdot b_{nk},$$

где W_k – весовой коэффициент значимости фактора риска (в баллах);
b_{nk} – элемент матрицы оценок параметра факторов риска.

Программный модуль прогнозирования длительности восстановления состояния здоровья новорожденных в отделении реанимации разработан в среде «Delphi». Для формирования данного алгоритма на языке программирования факторам риска с учетом результатов ранжирования, были присвоены весовые коэффициенты, отражающие их значимость. В программном модуле происходит суммирование произведений значений текущего балла по каждому фактору риска и соответствующего ему весового коэффициента. Алгоритм рассчитывает прогноз согласно итоговому значению. Минимальное количество баллов, которым может быть оценено состояние здоровья новорожденного – 6, максимальное – 69. Выходной параметр оценивается по итоговой сумме баллов (табл. 2).

Таблица 2. Оценка длительности восстановления состояния здоровья новорожденных с использованием разработанной шкалы.

Длительность восстановления, дни	Диапазон значений баллов
менее 7	6 – 24
8 - 14	27 – 36
15 – 25	39 – 48
26 – 55	51 – 60
более 56	63 – 69

Прогнозируемое значение длительности восстановления состояния здоровья новорожденного в отделении реанимации отображается в программном модуле в виде отчетной формы. Результаты прогноза автоматически сохраняются в базе данных.

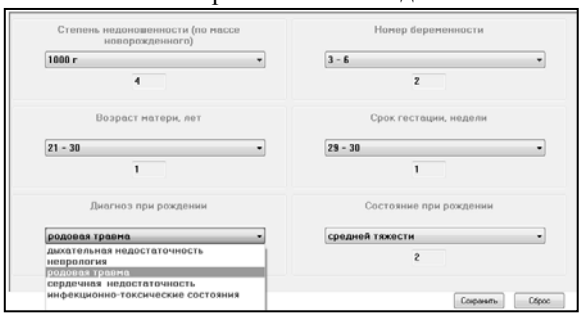


Рис. 1. Диалоговое окно выбора значений входных параметров

Точность работы программы была оценена на контрольной выборке, содержащей сведения о 120 недоношенных новорожденных (число детей по степеням недоношенности было выбрано в равном количестве). Установлено, что наибольший процент верных прогнозов приходится на новорожденных с 1 и 3 степенями недоношенности (87% и 90% соответственно), для 2 и 4 степеней значение чувствительности шкалы составило 83%. Разработанный программный модуль является специфичным для отделений реанимации новорожденных и будет полезен в работе как молодых, так и опытных специалистов, позволяя с высокой степенью достоверности оценить длительность восстановления состояния здоровья недоношенных новорожденных в отделении реанимации, спланировать или скорректировать курс лечения и реабилитации.

Список литературы

1. Качество жизни детей раннего возраста, родившихся в критическом состоянии / Н.И. Кулакова, Л.К. Антонова, С.М. Кушнир и др. // Справочник педиатра.- 2010. - № 9. - С. 46–51.

2. Барашнев, Ю. И. Перинатальная неврология - М.: Триада-Х, 2001 - 649 с.

ТРЕХМЕРНОЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕНТГЕНОТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Кленевский А.В., Богатов Н.М., Скворцов В.П.
Научный руководитель – Богатов Н.М. д.ф-м.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет»,
E-mail: klenevsky@me.com

В настоящее время лучевая терапия является основным методом лечения онкологических заболеваний. Проведение дистанционной гамма- и рентгенотерапии злокачественных опухолей представляет сложную задачу, условиями которой являются максимальное подавление клоногенного потенциала злокачественных клеток и при этом минимальное лучевое повреждение здоровых тканей организма. Одновременное выполнение этих условий невозможно без предварительного трехмерного дозиметрического физико-математического планирования лучевой терапии, в ходе которого определяются оптимальная геометрия и расположение дозовых полей, экранирующих средств, рассчитывается дозовое распределение в пространстве, строятся гистограммы «доза-объем» и производится контроль лучевой нагрузки на критические органы с точки зрения толерантных пределов.

Основные факторы гарантии качества планирования лучевой терапии – использование корректных анатомо-топометрических данных, выбор адекватного объема облучения и эффективного алгоритма расчета доз. Развитие технологий лучевой терапии неразрывно связано с совершенствованием средств анатомо-топометрической подготовки и систем планирования облучения, состоящих из множества компонентов, как программных, так и аппаратных.

Цель планирования лучевой терапии – включение в зону облучения минимально возможного объема тканей, но в то же время достаточного для воздействия на все опухолевые элементы.

На основе данных о размерах очага-мишени, ее расположении относительно наиболее важных, с точки зрения распределения лучевой нагрузки, анатомических структур и «критических органов» моделируется объемное распределение доз в облучаемом объеме; изодозные линии соединяют точки с одинаковым значением разовой очаговой дозы (РОД). Отмечают относительные значения – в процентах от максимальной поглощенной дозы, принимаемой за 100%. В практике лучевой терапии в соответствии с принятой выше методикой дозное распределение считают приемлемым, если вся опухоль заключается в дозе 100-90%, зона субклинического распространения опухоли и регионарного метастазирования находится в пределах 80% изодозы, а здоровые ткани – не более 50-30% изодозы.

Часто необходимость в максимальном охвате опухолевого очага приводит к превышению дозовой нагрузки на здоровые органы и ткани организма, особенно при близкой синтопии здоровых органов относительно очага и при глубоком залегании опухоли. Примерами таких случаев являются онкологические заболевания позвоночника и головного мозга ввиду высокой радиочувствительности тканей, окружающих данные локализации.

Актуальность поиска наиболее эффективных способов дистанционного облучения злокачественных новообразований (ЗНО) подтверждается статистическим анализом динамики заболеваемости, который проводится ГБУЗ КОД №1 МЗ КК. Опухоли ЦНС являются одной из наиболее значимых патологий на территории Краснодарского края.

Случаи заболеваний злокачественными новообразованиями головного мозга регистри-руются в любом возрасте у обоих полов. Согласно статистическим данным, в России за 2001-2011 гг. абсолютное число впервые в жизни установленных диагнозов ЗНО головного мозга и др. отделов ЦНС возросло.

С учетом перечисленных тенденций повышение эффективности лучевой терапии как метода лечения представляется оправданным и необходимым.

Целью данной работы является расчет наиболее оптимального плана облучения головного мозга с применением коллимирующих средств.

Материалом для исследования был выбран случай интрацеребрального ЗНО 2 стадии в верхней теменной доле головного мозга у пациента 1-го радиологического отделения №1 ГБУЗ КОД №1 г. Краснодара. Планирование дистанционной лучевой терапии проводилось с помощью трехмерной системы планирования терапии «Амфора» на основании серии КТ-топометрических снимков по алгоритму расчета «тонкий луч».

Врачом-радиологом была определена разовая очаговая доза для данной локализации в 3 Гр, первоначальная планируемая схема облучения состояла из подведения данной дозы в режиме ротационного облучения методом секторного качания 180 градусов (180°- 0°) полем размерами 5,5×7 см, облучение предполагалось проводить на линейном ускорителе электронов ЛУЭ СЛ-75-5-МТ, энергия 6 МэВ.

Метод ротационного облучения предполагает проведение подвижного облучения, при котором источник излучения (в данном случае – рентгеновского) движется вокруг пациента по круговой траектории, оставаясь при этом «наведенным» на патологический очаг.

Преимуществом этого метода является значительное снижение дозы в окружающих здоровых тканях и на поверхности тела по сравнению с облучением в статическом режиме. Однако общий объем облучаемых тканей, а следовательно, и интегральная поглощенная доза при подвижном облучении возрастают. Секторное облучение в рамках изучаемого плана лечения представляет собой такое облучение, в результате которого источник перемещается по дуге в пределах угла в 180°.

Проведенный расчет изодозного распределения показал достаточно широкий охват опухоли 100% изодозы, однако сопровождаемый излишним облучением прилегающей ткани. Точка нормировки, соответствующая пролеганию 100% изодозной кривой, выбрана по краю видимой мишени. Кривая, соответствующая 90% изодозе, охватывает достаточно большой объем не только очаговой, но и здоровой ткани. Кроме того, очевидно, что распределение дозы даже в пределах мишени неравномерно, так как в определенном объеме мишени наблюдается 110% изодозная кривая, соответствующая дозе, на 10% выше назначенной врачом.

Для оценки эффективности данной схемы с точки зрения минимизации облучения здоровых и прилегающих к опухоли тканей, не являющихся зоной субклинического распространения было рассмотрено распределение доз в критических органах и тканях. С учетом локализации, в качестве критических объектов выбраны зрачок и зрительный нерв правого и левого глаза.

Важным для учета лучевых реакций является контроль значений разовой очаговой дозы. Выбраны критические точки 1', 2', расположенные на глубине 0,5 см от поверхности кожи. Это расстояние соответствует максимуму ионизации для гамма-излучения со средней энергией фотонов 2,5 МэВ и, не являясь максимумом ионизации для рентгеновского излучения с энергией 6 МэВ, может служить соотнесенной с гамма-излучением характеристикой рентгеновского излучения с целью сравнения терапевтической эффективности этих излучений.

Для осуществления контроля в программной среде системы «Амфора» рассчитаны значения РОД в выбранных критических точках: 0,02 Гр – зрачок правого, 0,02 Гр – зрачок левого глаза; 0,02 Гр – зрительный нерв правого, 0,03 Гр – зрительный нерв левого глаза; доза на глубине 0,5 см от поверхности кожи: 0,93 Гр – в точке 1'; 1,34 Гр – в точке 2'. В точке максимума значение РОД составляет 3,51 Гр.

При планировании подвижного секторного облучения было рассчитано среднее распределение доз по объемам критических органов в процентном отношении: левый и правый глаза: по 0,6%, головной мозг – 26,1%, объем тела (по совокупности всей выполненной КТ-серии снимков для данной локализации) – 17,3%, объем опухоли (планируемый облучаемый объем) – 106, 1%.

Наблюдаемая неравномерность распределения дозы в пределах объема самой мишени (наличие значительных областей, охватываемых 110% изодозой) и повышенная нагрузка на прилегающие ткани мозга стали причиной оптимизации метода облучения. Результатом явился альтернативный метод облучения в статическом режиме (источник неподвижен относительно пациента) с двух полей размерами 4×7см, расположенных под углом 90° одно относительно другого с применением формирующих клиньев (вольфрам, угол клина 60°). Выполненный по этим параметрам расчет изодозного распределения показал значительно более узкий, локализованный охват очаговой зоны 100%-ой и 90% изодозных кривых. При этом 70%, 50% и 30% изодозные кривые охватывали значительно меньшую область головного мозга, тем самым хорошо сочетаясь с требованием минимализации облучения здоровых тканей.

Значения точек интереса при статическом двухпольном облучении: 0,04 Гр – правый, 0,02 Гр – левый зрачки; 0,03 Гр – правый, 0,03 Гр – левый зрительный нерв; 1,42 Гр – входная доза первого поля (точка 1, соответствующая 1'), 1,57 Гр – входная доза второго (точка 2, соответствующая 2'). Входные дозы полей – значения РОД в точках на глубине 0,5 см. В точке максимума значение РОД – 3,52 Гр.

Дозы в критических точках и точках максимума в результате моделирования обеих схем облучения практически совпали, однако статический метод показал некоторое повышение входных доз, что является особенностью, присущей данному методу.

Относительно облучаемых объемов тканей, в статическом режиме по сравнению с ротационным достигнуто заметное снижение степени облучения объема головного мозга с 26,1% до 20,5%, общего объема тела с 17,3% до 13,6%. Степень облучения планируемого объема опухоли увеличился с 106,1% при секторном подвижном методе до 106,9% при статическом методе.

Таким образом, метод статического двухпольного облучения с клиньями показал равную подвижному методу процентную эффективность облучения мишени, более узкий и центрированный охват опухоли с равномерным распределением стопроцентной дозы по объему мишени (в отличие от секторного качания), снижение облучаемых объемов здоровых тканей и при этом приблизительно эквивалентные подвижному методы значения разовых поглощенных доз в критических органах.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В БИОМЕДИЦИНЕ

Колосов И.В..
Научный руководитель: Умаров М.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Вологодский государственный университет, 160000, Россия, г. Вологда, ул. Ленина д.15
E-mail: musthated@gmail.com

В настоящее время электронные приборы и устройства, основанные на использовании замедляющих систем (ЗС) и возбуждаемых в них электромагнитных волн, получили широкое распространение в микроволновой электронике. Они также успешно применяются при создании новых элементов радиочастотных и микроволновых трактов, контрольно-измерительных приборов и устройств, электромагнитного нагрева материалов и изделий и т.д.[1,2].

Одним из перспективных направлений применения ЗС является возможность их использования в биологии и медицине в качестве антенн и излучателей для радиочастотной и микроволновой физиотерапии, радиотермии и томографии, чувствительных элементов для медицинской диагностики, устройств для стерилизации и термообработки.

Целью данной работы является рассмотрение физических свойств ЗС, поиск и анализ существующих электродов на ЗС, моделирование распределения магнитного и электрического полей вокруг электрода.

Преимущества применения ЗС в биологии и медицине основаны на электродинамических и конструктивных особенностях структур, которые следуют из распределения электромагнитного поля вблизи их поверхностей. В большинстве случаев ЗС сформированы проводящими элементами, имеющими периодичность вдоль распространения волны, например, одиночными спиралями, биспиралями или меандрами. Изменение конфигурации таких структур, обеспечивающих концентрацию электромагнитного поля вблизи своей поверхности, позволяет обеспечить также проникновение энергии на заданную глубину в окружающих их средах.

Рассмотрим ниже более подробно физические свойства ЗС, наиболее важные для применения в биологии и медицине.

Первой особенностью ЗС является возможность концентрации энергии замедленной волны пропорционально величине коэффициента замедления.

Вторая особенность ЗС состоит в возможности дополнительной концентрации энергии в поперечном сечении структуры, что вызвано поверхностным распределением области замедленной волны.

В качестве третьей особенности ЗС следует подчеркнуть возможность поверхностного распределения поля при разных частотах и коэффициентах замедления, что позволяет их применять для относительно больших и малых объемов биологических объектов и сред

Четвертой особенностью ЗС является то, что в зависимости от граничных условий и различного распределения в поперечном направлении, ее электромагнитное поле в большинстве случаев представлено в виде гибридной волны, которую можно рассматривать в виде совокупности волн Е- и Н-типов. Данное свойство позволяет создавать медицинские излучатели и электроды с преимущественным сосредоточением электрического или магнитного поля в заданной области биоткани, что важно при проведении локальной физиотерапии.

Пятая особенность ЗС состоит в возможности многократной концентрации электрического и магнитного полей в связанных структурах, например, цилиндрических или радиальных спиралях с противоположным направлением намотки.

Концентрация электрического поля между спиралями с большим замедлением обеспечивает лучшие условия для терапии радиочастотным магнитным полем, в то время как интенсивность электрического поля в биоткани уменьшена приблизительно в N^2 раз. При этом дополнительное замедление может превысить основное замедление, обеспеченное изгибом проводников.

Шестая особенность ЗС состоит в периодичности их структуры, что подчеркивает формирование электромагнитного поля пространственными (нулевой и первой) гармониками. Когда все поле или его электрическая или магнитная часть представлены суммой ±1 гармоник, энергия концентрируется в небольшом слое.

Седьмой особенностью ЗС является возможность интенсивного излучения при условии, что фазовая скорость волны в структуре меньше скорости распространения света в оптически плотной среде (биоткани).

Указанные выше особенности ЗС открывают широкие перспективы их использования в биологии и медицине. Уменьшение резонансных размеров электродов и отсутствие излучения в окружающее пространство позволяет сконцентрировать эффект терапии на заданную область биологического объекта, также обеспечивая одновременно безопасность медперсонала.

Практическая реализация рассмотренных особенностей замедленных электромагнитных волн позволила научной группе под руководством профессора Ю.Н. Пчельникова разработать и создать целый ряд внутриполостных и наружных излучателей и электродов на спиральных ЗС для радиочастотной и микроволновой физиотерапии (рис.1)[1,2].

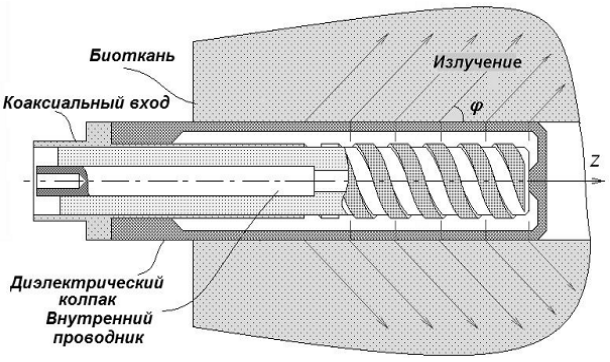


Рис.1. Спиральный электрод для внутриполостной физиотерапии

Несмотря на преимущества таких электродов и излучателей, они имеют и отдельные недостатки, как и любая ЗС. Так, равномерное распределение излучения по поперечному сечению электрода не позволяет оказывать локальное воздействие на определенный орган. Другим недостатком является малая эффективность излучения, вызванная наличием воздушного зазора между внешним проводником излучателя и поверхностью облучаемого участка тела пациента.

Компенсировать указанные недостатки удается, заменив спиральный проводник ребристым стержнем. При этом некоторое уменьшение коэффициента замедления приводит к пропорциональному снижению излучения в азимутальном направлении излучателя.

Результаты компьютерного моделирования излучателя приведены в виде распределений магнитного (рис.2) и электрического (рис.3) полей вблизи его поверхности. Полученные зависимости наглядно демонстрируют снижение излучения в азимутальном направлении, что обеспечивает возможность эффективного локального облучения определенного участка тела пациента.

Таким образом, рассмотренные и проанализированные особенности применения ЗС в биологии и медицине позволяют создавать высокоэффективные электроды и излучатели для радиочастотной и микроволновой терапии, гипертермии, стерилизации и термообработки, диагностики и т.д. Технологии на базе

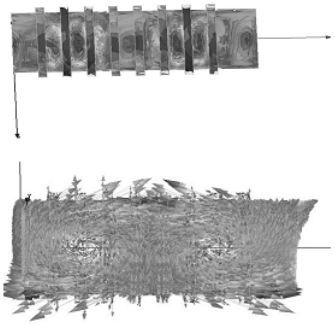


Рис.2. Распределение магнитного поля вблизи поверхности электрода

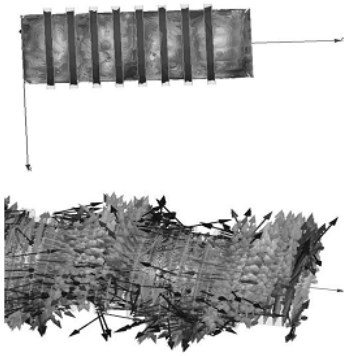


Рис.3. Распределение электрического поля вблизи поверхности электрода

замедляющих систем обеспечивают новые функциональные возможности устройств, они просты, недороги и позволяют работать на относительно низких частотах. Возможность концентрации энергии вблизи поверхности ЗС, а также возможность преимущественного сосредоточения энергии электрического или магнитного поля в заданной области позволяют обеспечить более высокую эффективность воздействия требуемым излучением, чем биомедицинские устройства на отрезках волноводных или коаксиальных линий.

Библиографический список

1. Елизаров А. А. Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем / А.А. Елизаров, Ю.Н. Пчельников. М.: Радио и связь, 2002. 200 с.

2. Елизаров А. А. Технологические процессы и устройства на замедленных электромагнитных волнах: современное состояние и тенденции развития / А. А. Елизаров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1998. Т.1. №1. С. 41-49.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СТЕТОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЦА И ЛЕГКИХ

Тургунова Н.Д., Кусаинов Р.К.
Научный руководитель:с.н.с., к.ф.-м.н. А.Н. Алейник
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,пр.Ленина 30
Email: rinat_k1@mail.ru

Диагностика болезней сердца и легких в настоящее время осуществляется в основном с помощью акустического стетоскопа. Однако ему присущи определенные недостатки. Интерпретация результатов зависит от опыта и умения врача. Звуки высокой частоты ухом воспринимаются громче, чем низкой. В связи с этим, в последнее время является актуальным вопрос о внедрении в медицину электронных (цифровых) стетоскопов. Цифровой стетоскоп обладает большим усилением, позволяет хранить информацию и воспроизводить ее заново, а также представлять в графическом виде. Эту информацию легко передавать в другие клиники и документировать. Однако существующие электронные стетоскопы являются дорогими, недоступными устройствами, так как производятся только зарубежными кампаниями. В связи с этим требуется разработка цифрового медицинского стетоскопа, обладающего низкой стоимостью, но не уступающего по характеристикам зарубежным аналогам.

На кафедре ПФ ФТИ ТПУ разработан макет цифрового медицинского стетоскопа.

Блок схема прибора представлена на рис. 1. Акустическая головка прикладывается к исследуемой части тела, в ее объеме происходят механические колебания воздуха, регистрируемые электретным микрофоном. Выходной сигнал с микрофона идет на усилительный блок, затем проходит блок фильтрации. С фильтра сигналпоступает на АЦП и передается на ПК.

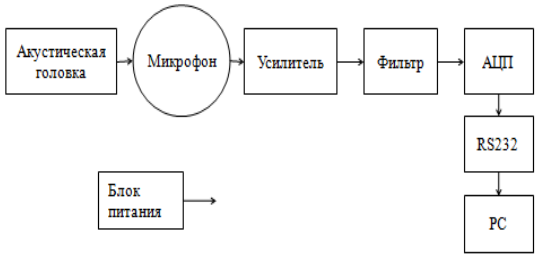


Рис.1 Блок-схема устройства

Первичным в процессе аускультации является процесс сбора звука, который начинается с акустической головки. В разных приборах ею является либо воронка, либо чувствительная мембрана. Акустический стетоскоп представить без этой составной части невозможно. Когда имеем дело с электронным стетоскопом, то здесь присутствует микрофон, возможно цифровое усиление сигнала и т.д. Однако простые эксперименты доказывают, что использование акустической головки в составе электронного стетоскопа необходимо. Благодаря герметизации воздуха, происходит значительное уменьшение шумов окружающей среды, достигается изначально большее усиление нужных звуков.

В разработанной схеме использовался электретный микрофон ECM-4F, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики электретного микрофона

Импеданс:	2,2 кОм
Частотный диапазон:	20 Гц – 13 кГц
Чувствительность:	58 дБ
Мембрана:	9,7x6,5 мм

Для обработки сигнала используется быстрое преобразование Фурье. Программа для компьютера была разработана в среде C++Builder.

С помощью прибора на добровольцах были сняты сигналы сердца. Исходя из рис.2 видно, что частотный диапазон биения сердца находится в диапазоне частоты 10-40 Гц. Это соответствует, глухим тонам сердца, а так же открыванию и закрыванию клапана [2]. В диапазоне 68-75 Гц лежат шумы, относящиеся к легким и сосудам.

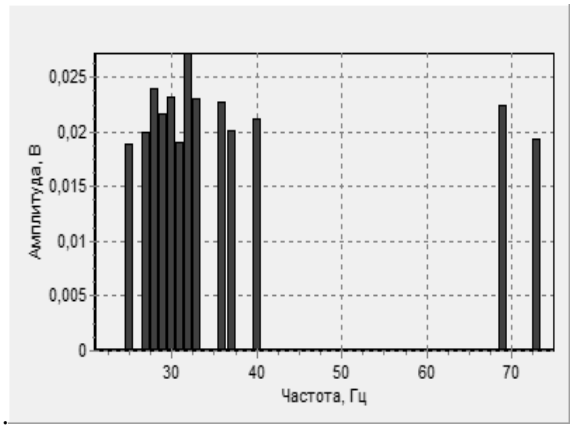


Рис.2. Спектр частот сердца.

Затем произвели измерения на сонной артерии. Из графика видно, что частотный диапазон сонной артерии составляет 20-30 Гц с амплитудой приблизительно 200мВ. При сравнении с рис.2 видно, что частота соответствует частоте сердца. Отсюда можно сделать вывод, что прибор работает корректно.

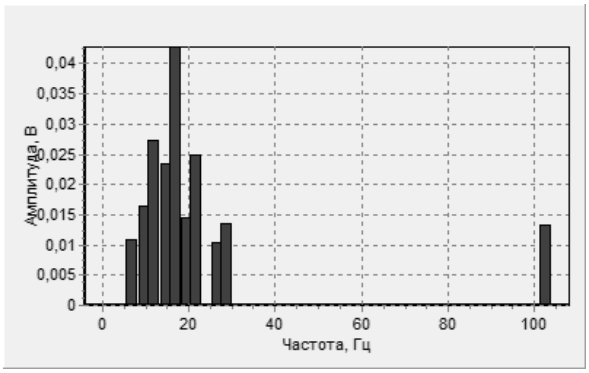


Рис.3. Спектр частот для сонной артерии

Далее с помощью прибора был снят сигнал легких у здорового человека и человека с диагнозом бронхит до и после лечения. Сигнал снимался при выдохе.

На рис.4. и рис.5 видно, что присутствуют частоты соответствующие частотам сердца.

Так как у здорового пациента отсутствуют, какие либо шумы в легких то сектор соответствует спектру частоты сердца. В диапазоне частот 85-110 Гц лежат шумы, относящиеся к сосудам и шуму при выдохе.

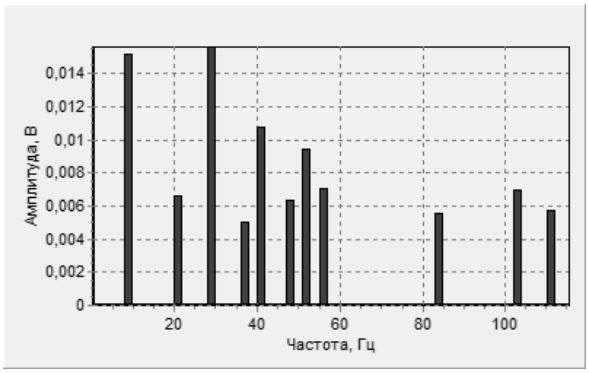


Рис.4. Спектр частот здорового легкого

При бронхите происходит набухание слизистой оболочки бронхов, что приводит к сужению проходов и сильно осложняет дыхание. Это приводит к возникновению хрипов в верхних и нижних путях. На рис.5. видно, что в диапазоне частот 100-200Гц видны хрипы, присутствующие в легких.

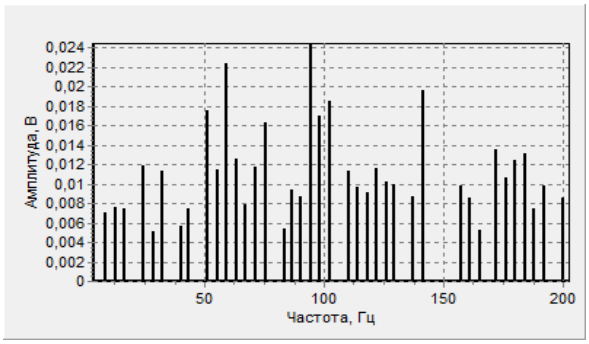


Рис.5. Спектр частот лёгкого с бронхитом до лечения

Далее бы произведено медикаментозное лечение. Из рис.6. видно, что шумы уменьшились. Из графиков можно сделать вывод, что у больного до сих пор присутствую признаки бронхита

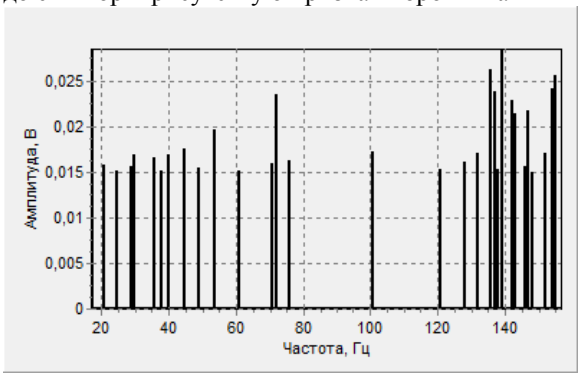


Рис.6 Спектр частот лёгкого с бронхитом после лечения

При сравнении двух графиков видно, что легкое с бронхитом имеет более высокую амплитуду и частоту у здорового человека.

Исходя из рисунков видно, что разработанный макет электронного стетоскопа надежно различает и воспроизводит физиологические звуки сердца, легкого и пульса, что позволяет определить широкий спектр нарушений организма..

Литература:

1. Wah W. Myint, Bill Dillard, An electronic stethoscope with diagnosis capability/ Wah W. Myint, Bill Dillard .- Proceedings of 33rd South-Eastern Symposium on System Theory, pp: 133-137

2. Кассирский И.А., Кассирский Г.И. Звуковая симптоматика приобретенных пороков сердца/ Кассирский И.А., Кассирский Г.И.- М.: Медицина, 1964. - 327 с.

3. Атлас клинической фонокардиографии [Текст] : атлас / В. В. Соловьев, Г. И. Кассирский. - М. : Медицина, 1983. - 296 с.

4. Малая медицинская энциклопедия [Текст] : в 6-ти т. / Гл. ред. В. И. Покровский. - М. : Большая Российскаяэнциклопедия, 1991 - . - ISBN 5-85270-059-2.

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Ленивцева Ю.Д. [1], Больбасов Е.Н. [1], Лапин И.Н. [2]
Научный руководитель: Твердохлебов С.И., кандидат ф.-м. н., доцент ТПУ
[1]–Томский политехнический университет, Россия, 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]–Томский государственный университет, Россия, 6340340, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: Lyd150593@mail.ru

Современные медицинские технологии позволяют восстановить или частично заменить любой орган в человеческом организме. Для проведения операций в современной медицине широко используются имплантаты. Перспективными материалами считаются полимеры, поскольку их использование при изготовлении имплантатов позволяют получать различные композитные структуры.

Поверхность имплантата должна связываться с органической тканью, быть рельефной (шероховатой, пористой), биологически совместимой, обладать регенеративной функцией [1,2]. С целью повышения биосовместимости имплантата с костной тканью на их поверхность наносятся кальций-фосфатные покрытия.

Для формирования кальций-фосфатных покрытий на поверхности полимерного материала был выбран метод лазерной абляции. Поскольку в доступной литературе недостаточно информации о влиянии состава распыляемой кальций-фосфатной мишени на структуру и свойства покрытий, сформированных данным методом, целью работы стало изучение влияния химического состава распыляемой мишени на морфологию и состав полученных покрытий.

Материалы

Сополимер тетрафторэтилена с винилиденфторидом ТФЭ/ВДФ наносился на предметные стекла размером 20×20 мм. Тонкое полимерное покрытие из 2% раствора сополимера (ТФЭ/ВДВ) в смеси органических растворителях следующего состава масс %: ацетон 20, этилацетат 20, циклогексанон 40, бутилацетат 20 формировали на одной из сторон стеклянной пластины. Приготовление раствора сополимера ТФЭ/ВДВ проводили в герметичном реакторе при температуре 50°С и постоянном перемешивании до получения однородного прозрачного раствора. Далее полученный раствор охлаждали до комнатной температуры и наносили на пластину методом пневматического напыления. Затем образцы помещали в камерную печь, где проводили окончательное формование полимерного покрытия при следующих режимах: нагрев до температуры 35°С со скоростью 1 град в минуту, выдержка при температуре 35°С в течение 4 часов, нагрев до температуры 70°С, выдержка при температуре 70°С в течение 4 часов, нагрев до температуры 200°С со скоростью 1 град в минуту, выдержка при температуре 200°С в течение 2 часов. Модифицирование поверхности полученных материалов осуществляли методом лазерной абляции. Распыляемые мишени: гидроксиапатит (мишень 1), кальций фосфорнокислый двузамещенный (мишень 2).

Методы

Модифицирование проводилось с помощью импульсно-периодического лазера фирмы Lotis TII, общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1. Лазер испускает импульсы с частотой ν=15 Гц, длительность одного импульса составляет τ=7 нс, длина волны λ=1,064 мкм. Энергия одного импульса лазера составляет E_0=170 мДж, плотность мощности лазера W=2,7 Вт/см^2.

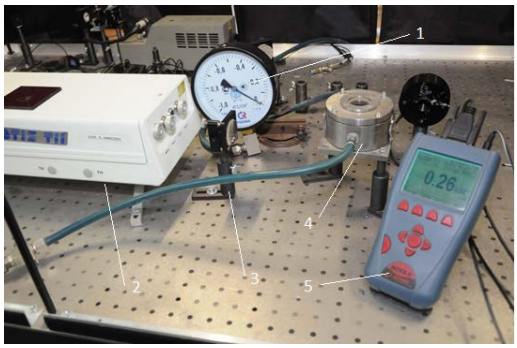


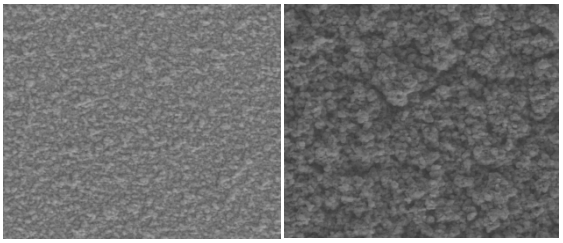
Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – монометр, 2 – лазер, 3 – линза, 4 – вакуумная камера, 5 – измеритель мощности

Исследования морфологии поверхности и элементного состава образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью ESEM Quanta 400 FEG со встроенным EDS-анализатором в режиме низкого вакуума без напыления проводящих покрытий с целью исключения искажения морфологии изучаемых покрытий.

На рис. 2 представлены СЭМ изображения покрытий при увеличении 1000. Из рисунка видно, что полученные покрытия имеют однородную, рельефную, зернистую структуру.

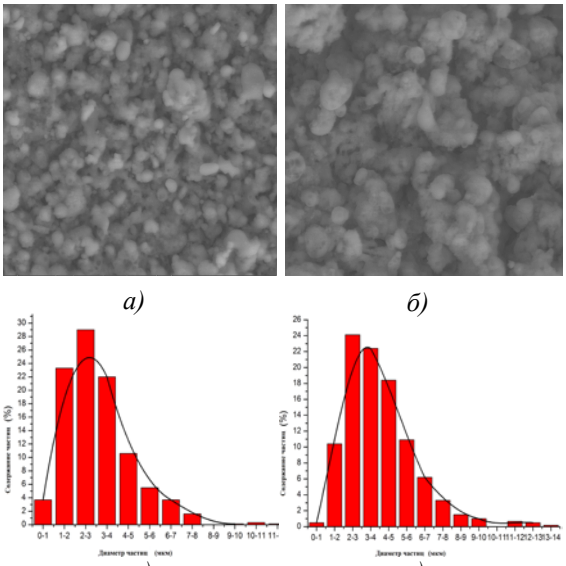
Также методом сканирующей электронной микроскопии были получены изображения при увеличении 5000 и построены гистограммы распределения зерен покрытий по линейным размерам – диаметрам (см. рис. 3). Из рис. 3 в видно, что распределение частиц покрытия, полученного при использовании мишени из гидроксиапатита, по размерам имеет широкий максимум, расположенный между 2 мкм и 3 мкм, что позволяет судить о том, что средний диаметр

частиц покрытия находится в этом промежутке. Средний диаметр зерен покрытия, полученного при использовании мишени из кальция фосфорнокислого двузамещенного, находится в промежутке между 3 мкм и 4 мкм (рис. 3 г). Можно сделать вывод, что размеры частиц представленных покрытий отличаются незначительно. Учитывая анализ снимков СЭМ, можно заключить, что морфология двух покрытий схожа.



а) *б)*

Рис. 2. СЭМ изображения покрытий при увеличении 1000: а) мишень 1, б) мишень 2

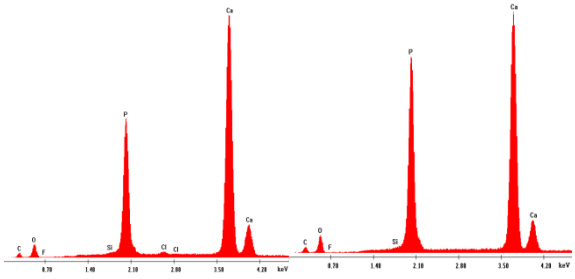


а) *б)*

в) *г)*

Рис. 3. Изображения покрытий при увеличении 5000 и гистограммы распределения зерен покрытий по диаметрам: а, в) мишень 1, б, г) мишень 2

На рис. 4 представлены энергодисперсионные спектры покрытий. Пики таких химических элементов как C, O, F, Cl на спектрах соответствуют полимерному слою, нанесенному на подложку. Поэтому при исследовании покрытий эти пики обладают малой интенсивностью или вообще отсутствуют. Пики элементов Ca и P соответствуют непосредственно кальций-фосфатным покрытиям, поэтому в зоне покрытия они обладают высокой интенсивностью. Процентное содержание элементов в покрытии по данным ЭДС анализа представлено в таблице 1. Наличие пика Si обуславливается использованием стеклянной подложки. ЭДС анализ показал, что модификация поверхности полимера методом лазерной абляции с использованием различных кальций-фосфатных мишеней позволяет менять элементный состав формируемых покрытий. Также для обоих видов покрытий было рассчитано соотношение Ca/P, которое в случае мишени из гидроксиапатита составило 2,17, а для мишени из кальция фосфорнокислого двузамещенного – 1,52, что близко к стехиометрическому соотношению 1,67.



а) б)

Рис. 4. Энергодисперсионные спектры покрытий а) из гидроксиапатита, б) из кальция фосфорнокислого двузамещенного

Таблица 1. Химический состав кальций фосфатных покрытий. ЭДС анализ

Покрытие	At,%					Ca/P
	Ca	P	C	O	F	-
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	43,91	20,20	12,96	22,67	0	2,17
$CaHPO_4$	36,11	23,81	16,54	23,14	0,13	1,52

В данной работе модификация полимерного слоя производилась методом лазерной абляции с использованием двух видов кальций- фосфатных мишеней. Было показано, что полученные покрытия имеют рельефную, зернистую, однородную поверхность и близкие по значению средние диаметры зерна, их морфология отличается незначительно. Выяснено, что нанесение кальций-фосфатных покрытий методом лазерной абляции с использованием различных мишеней позволяет менять элементный состав формируемых покрытий.

Список литературы:

1. Карлов А.В., Шахов В.П. Системы внешней фиксации и регуляторные механизмы оптимальной биомеханики. – Томск: STT, 2001. – 480 с.

2. Твердохлебов С.И., Шестериков Е.В., Мальчихина А.И. Особенности формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ магнетронного напыления на имплантатах // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 73-79.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ В КАПЕЛЬНОМ ОБРАЗЦЕ

Литвинова С.А, Аристов А.А.
Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: litvinova-svetlana@list.ru

Определение характеристик свертывающей системы крови один из самых важных анализов проводимых в клинико-диагностических лабораториях (КДЛ). Значимость данного анализа связана с активным применением в клинической практике современных антикоагулянтов, а так же с увеличением числа заболеваний, связанных с системой гемостаза.[1]

Наиболее распространенный методический подход для оценки плазменого гемостаза в КДЛ – выполнение клоттинговых тестов. Метод основан на измерении промежутка времени с момента внесения реагента, запускающего каскад свертывания плазмы крови, до момента коагуляции – образования фибринового сгустка.[2]

Существует достаточно большое количество принципов (методов) регистрации времени свертывания и приборов, построенных на их основе. Однако и в данной области имеются возможности совершенствования методик исследования и создания приборов с лучшими потребительскими качествами.

Для исследования систем гемостаза сотрудниками и студентами кафедры Промышленной и медицинской электроники было предложено проводить данный вид исследований в образцах в виде капель, применяя при этом фотометрический метод регистрации процесса коагуляции.[3]

В результате фотометрирования капельного образца получается кривая, содержащая информацию об оптических свойствах пробы и их изменении в результате протекания каких-либо процессов в пробе. Для примера на рис. 1 представлена кривая, полученная нами в результате просвечивания инфракрасным светом капельной пробы объемом 21 мкл, в процессе образования фибринового сгустка (протромбиновый теста). Фотоприемник располагается над каплей в области фокуса капли-линзы.

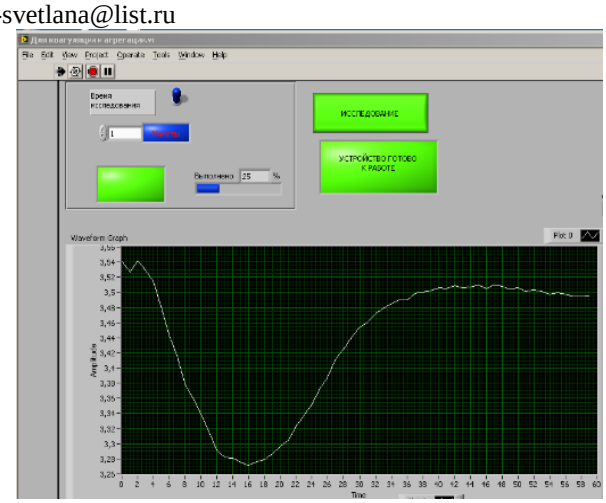


Рис.1. Кривая светопропускания капельного образца при выполнении протромбинового теста. Реагенты: плазма 7 мкл, техпластин 14 мкл, диаметр кюветы 5 мм.

По нашим предположениям, основанным на результатах предварительных исследований, кривая отражает следующие процессы. Первоначально, при образовании нитей фибрина по всему объему капли, идет помутнение среды и светопропускание пробы резко падает. Далее сгусток фибрина начинает концентрироваться (собираться) в центре кюветы, а по краям, соответственно, остается прозрачная плазма без фибрина в результате чего интенсивность светового потока снова увеличивается. В данном случае сказывается влияние фокусирующих свойств капельного образца. И как раз момент времени появления перегиба на оптической кривой (нижний экстремум) соответствует времени свертывания того же образца плазмы получаемого на коагулометре АПГ-02-02. С целью более точного автоматизированного выявления данного момента программными средствами необходимо чтобы данная область имела как можно меньшую переходную зону. На ход кривой может повлиять, объем используемого образца, соотношение плазмы и техпластина, размеры и геометрия кюветы, а также положение фотоприемника над образцом. Нами ранее было показано, что наилучшие результаты (ярко выраженный перегиб на кривой) получается в случае положения фотоприемника в области фокуса капли. Соотношение исследуемой плазмы и техпластина обычно берется согласно инструкции по применению техпластина – обычно 1:2.

Экспериментально было показано, что объем пробы при неизменном объеме кюветы

достаточно сильно сказывается на характере кривой. Поскольку при изменении объема может меняться величина области капли освободившейся от фибрина после образования сгустка и тем самым измениться величина светопропускания образца. Предположительно при увеличении объема прозрачной области по краям кюветы, кривая будет носить более информативный характер и позволит с высокой точностью определить момент образования сгустка.

Мы провели моделирование влияния объема пробы на величину освободившейся от фибрина краевой области капли после формирования сгустка в центре капли. Согласно полученным в экспериментах снимкам боковой проекции капли, до диаметра оснований около 5мм поверхность капли остается достаточно сферичной. Поэтому, в модели представили каплю в виде идеального сегмента шара внутри которого формируется фибриновый сгусток, также имеющий сферическую форму (рис. 2). Необходимо найти величину свободной прозрачной плазмы *X* в зависимости от изначального объема капли. Соотношение объема фибринового сгустка к свободной плазме берем 2:1.

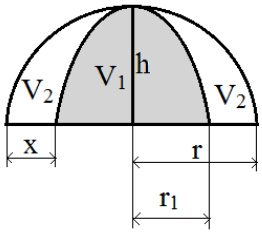


Рис. 2. Геометрическая модель капли в фибриновым сгустком в центре.

Необходимо найти такой объем, чтобы значение *X* было как можно больше.

Эта переменная зависит непосредственно от объема. Объем шарового сегмента, выраженный через радиус r, равен:

$$V = \frac{\pi h}{2}\left(r^2 + \frac{h^2}{3}\right)$$

Радиус кюветы, используемой для исследования, а, следовательно, и радиус основания капли, считаем постоянным: r=2.5мм.

Значение h , будем изменять от 1 до 2,5 мм (область “сферичности капли”), с шагом 0.1.

Исходя из принятых соотношения объемов свободной плазмы и фибринового сгустка:

$$V_1 = \frac{2}{3}V$$

Объем фибринового сгустка, равен:

$$V_1 = \frac{\pi h}{2}\left(r_1^2 + \frac{h^2}{3}\right)$$

Выражаем r_1:

$$r_1 = \sqrt{\frac{2}{\pi h}\left(V_1 - \frac{\pi h^3}{3}\right)}$$

Подставляем в данное выражение V_1, преобразуем, в результате получаем:

$$r = \sqrt{\frac{2}{3}\left(r^2 - \frac{2h^2}{3}\right)}$$

Теперь, зная r и r_1, находим x:

$$x = r - r_1$$

С помощью Mathcad получаем зависимость x от общего объема капли $(V=V_1+V_2)$:

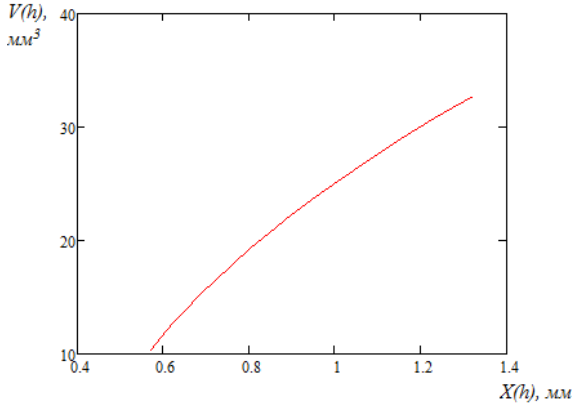


Рис.3. Изменение размера области прозрачной плазмы в зависимости от исходного объема капли.

Как видно из расчетного графика, с ростом объема капельной пробы растет и значение x. Из чего следует, что в практике для лучшей идентификации момента образования фибринового сгустка целесообразней использовать капельные пробы больших объемов. Однако максимально допустимый объем ограничен областью сферичности капли. Для капель небольших размеров надо брать такой объем, чтоб в результате высота капли равнялась радиусу ее основания. Такое условие естественно легче выполнить для очень малых капель, где усиливается действие поверхностных сил и капля будет более сферична. Однако, при уменьшении размеров, уменьшается и величина модуляций оптического потока проходящего через каплю и тем самым будут меньше амплитудные изменения на оптических кривых.

Литературные источники:

1. Анализ на протромбин крови. Протромбиновый индекс. Международное нормализованное отношение (МНО). – URL: http://www.policlinica.ru/analiz4_7.html (Дата обращения: 28.02.14)

2. Баркаган З.С., Момот А.П., Диагностика и контролируемая терапия нарушений гемостаза, М: 2001,286с.

3. Аристов А.А., Устройство для оценки физических свойств биологических жидкостей. Патент РФ на ПМ №47526 РФ. Опубл.2005.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ АНАЛИЗАТОР В ФАРМАЦЕВТИКЕ

Лукашенко Е.И., Юрин М.Е.,
Научный руководитель: Умаров М.Ф., д.физ.-мат.н., профессор
Вологодский государственный университет, 160012, Россия, г. Вологда, ул. Ленина, 15
E-mail: elenalukaschenko@mail.ru

Нами использован спектральный молекулярный анализатор для идентификации фармацевтических препаратов в малом количестве схема, которого показана на рис. 1. Наиболее эффективным для решения такого рода задачи оказалось использование четвёртой гармоники (266 нм) импульсно-периодического лазера YAG , генерирующего коротковолновое ультрафиолетовое излучение со средней мощностью 10 мВт при частоте следования наносекундных импульсов генерации 5-10 кГц. Возбуждающее излучение подводится к входному торцу канала, а сигнал вторичного излучения собирается световодом, направляемым к входной щели спектроанализатора. При увеличении длины канала в случае малой концентрации вещества чувствительность регистрации может быть соответственно увеличена. В данной схеме полезный сигнал собирается из канала с веществом практически из той же точки, из которой выходит возбуждающее излучение из смежного световода. Преимуществом данного метода является сильное ослабление возбуждающего излучения, проходящего "вперёд", в то время как вторичное излучение собирается вторым световодом "назад".

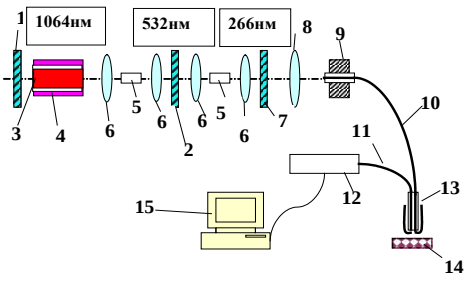
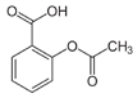
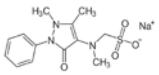
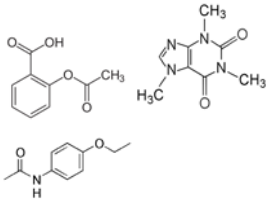
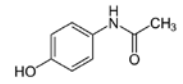


Рис.1. Схема экспериментальной установки для анализа фармацевтических препаратов в малом количестве: 1,2,7 – зеркала; 3 – активный элемент; 4 – накачка; 5 – нелинейный кристалл; 6 – линза; 8 – конденсатор; 9 – фиксатор световода; 10,11 – световод; 12 – спектрограф; 13 – зонд; 14 – измеряемый образец; 15 – компьютер.

В качестве объектов исследования нами были выбраны типичные фармацевтические препараты (цитрамон, анальгин, аспирин и парацетамол). В таблице 1 приведены структурные формулы исследованных фармацевтических препаратов.

Таблица 1.

Структурные формулы исследованных фармацевтических препаратов.

Фармацевтический препарат	Структурная формула
Аспирин	
Анальгин	
Цитрамон (аспирин, кофеин, фенацетин)	
Парацетамол	

Как видно из этой таблицы, в структуре всех исследованных веществ присутствуют ароматические кольца, что приводит к фундаментальному электронному поглощению этих соединений в среднем ультрафиолетовом диапазоне. Соответственно в этих веществах наблюдается флуоресценция в фиолетово-красном диапазоне при возбуждении флуоресценции коротковолновым (266 нм) электромагнитным излучением. Измерения проводились при комнатной температуре.

Для возбуждения и регистрации спектров флуоресценции использовалась волоконно-оптическая методика (см. работы [1-3]). Исследования фармацевтических препаратов проводились следующим образом. Небольшое количество анализируемого вещества в виде таблетки помещалось в кювету (14) (см. рис.1). Кварцевые световоды (10,11) использовались для подведения ультрафиолетового излучения к веществу и для отведения, возникающего в анализируемой пробе флуоресцентного излучения к малогабаритному спектрографу (12) типа FSD8. При этом пространственное разрешение на поверхности анализируемой пробы составляло 0,1мм. Используемый тип малогабаритного спектрографа позволял осуществлять регистрацию спектров флуоресценции исследуемых таблеток в диапазоне 200 – 1200 нм при экспозициях 0,01-0,1с. От миниспектрометра цифровая информация о спектре вторичного излучения передавалась на компьютер. После компьютерной обработки нами были построены нормированные спектры флуоресценции фармацевтических препаратов.

Рис.2 иллюстрирует вид спектров флуоресценции таблетки цитрамона от нескольких точек на поверхности образца, отстоящих друг от друга на расстоянии 3-4 мм.

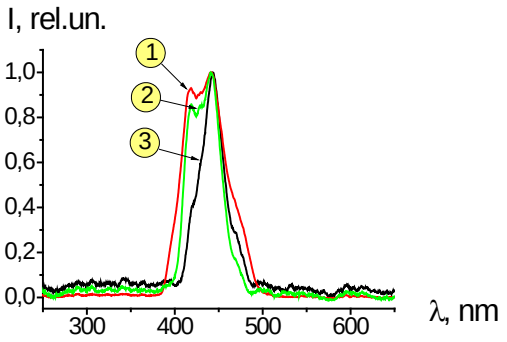


Рис.2. Вид спектров флуоресценции от нескольких участков (кривые 1-3) анализируемой таблетки цитрамона при возбуждении ультрафиолетовым излучением (266 нм)

Как видно из этого рисунка, молекулярный состав анализируемой таблетки цитрамона оказывается различным для областей поверхности, расположенных на расстоянии несколько миллиметров друг от друга. Это свидетельствует о неоднородности молекулярного состава анализируемой пробы.

Для установления количественного отличия флуоресцентных спектров, полученных от различных фармацевтических препаратов, нами были построены корреляционные функции с использованием следующего соотношения:

$$K_X^A(\lambda) = 1 - |i_X(\lambda) - i_A(\lambda)| \qquad (1)$$

Здесь $i_X(\lambda), i_A(\lambda)|$ - нормированные спектры флуоресценции анализируемого препарата (x) и аспирина (A). Корреляционные спектры строились в диапазоне длин волн $\Delta\lambda = 369 - 468$ нм с интервалом разбиения $\Delta\lambda_i = 0,26$ нм. Кроме того, были вычислены соответствующие коэффициенты корреляции анализируемых препаратов по отношению к аспирину по формуле:

$$K_X^A = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{i=N} K_X^A(\lambda_i) \qquad (2)$$

Близость вида спектров флуоресценции цитрамона и аспирина обусловлена присутствием в них одного и того же компонента. В то же время различия в спектрах флуоресценции от различных областей поверхности цитрамона (см. рис. 3) обусловлена неравномерным распределением в нём (см. табл. 1) компонентов (кофеина и фенацетина). Уширение полосы флуоресценции анальгина по сравнению со спектром парацетамола можно объяснить более сложной молекулярной структурой анальгина.

В таблице 2 приводятся коэффициенты корреляции фармацевтических препаратов других производителей. Очевидно, что коэффициенты корреляции исследуемых фармацевтических препаратов каждого исследуемого производителя различны. В связи с этим, предложенная нами методика позволяет также идентифицировать фармацевтические препараты по производителям.

Таблица 2.

Коэффициенты корреляции фармацевтических препаратов.

Название вещества	№ образца*	Коэффициент корреляции K_X^A
Цитрамон П	1	0,872
	2	0,861
	3	0,879
	4	0,883
Парацетамол	1	0,451
	2	0,446
	3	0,438
Анальгин	1	0,478
	2	0,485
	3	0,492

* - *№ образца в данной таблице соответствуют номерам в таблице 2.*

Таким образом, разработанный нами спектральный молекулярный анализатор позволяет неразрушающим способом по флуоресцентным спектрам контролировать молекулярный состав и структуры фармацевтических препаратов, содержащих ароматические кольца. Возбуждение спектров флуоресценции осуществлялось четвёртой гармоникой лазера на алюмоиттриевом гранате с использованием волоконно-оптического зонда и малогабаритного светосильного спектрографа.

Разработанный метод может быть использован не только для контроля качества фармацевтических препаратов, ни и для большого класса биоактивных структур, люминесцирующих под действием ультрафиолетового излучения.

Полученные научные результаты могут внести вклад в области фундаментального научного исследования спектроскопии атомов и молекул.

Библиографический список

1. Ю.П.Войнов, В.С.Горелик, М.Ф.Умаров, С.В.Морозова. Разностная флуоресцентная спектроскопия структуры и состава биоактивных препаратов // Краткие сообщения по физике ФИАН **38** (11), 2011- с. 13-19.

2. В.С.Горелик, М.Ф.Умаров, Е.И.Лукашенко. Программный пакет для анализа и математической обработки флуоресцентных спектров биоактивных препаратов // Материалы седьмой Международной научно-технической конференции ИНФОС-2013, Вологда: ВоГТУ, 2013. – с. 49-54.

3. Ю.П.Войнов, В.С.Горелик, М.Ф.Умаров, М.Е.Юрин. Способ анализа биологических препаратов. Патент на изобретение № 2488097 от 20.07.2013г.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНО – АППАРАТНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ КОМПЛЕКС

Макаров А.Г, Кильпияйнен Э.И.
Научный руководитель: Григорьян Л.Р., канд. физ.-мат. наук, доцент
Кубанский Государственный Университет, 350040, г.Краснодар, ул.Ставропольская 149
E-mail: mumrikennen@gmail.com

Введение

С развитием медицинской науки и появлением новых идей в клинической медицине появляются все новые задачи по созданию медицинской аппаратуры. В настоящее время использование в медицинской практике компьютера в сочетании с измерительной и управляющей техникой позволило создать новые эффективные средства для обеспечения автоматизированного сбора информации о состоянии пациента, ее обработки в реальном масштабе времени и управления его состоянием.

В частности, в настоящее время и в будущем будут чрезвычайно востребованы средства диагностики сердечно сосудистой - системы. С ускорением темпов технического развития человечество не только остается бессильным перед сердечно - сосудистыми заболеваниями, но и активно сдает позиции по обеспечению здорового функционирования кровеносной системы. Вдобавок современный ритм жизни порождает большое количество стрессовых ситуаций, которые негативным образом влияют на нервную, а также сердечно – сосудистую систему. Известно, что многие болезни можно победить еще на этапе их возникновения, правильным образов вычислив их и приняв соответствующие меры. Выводы о наличии той или иной болезни можно сделать (кроме прочего) по значениям некоторых физиологических показателей человека (частота сердечных сокращений, температура тела и т.д.).

Одним из вариантов решения проблемы сбора и анализа физиологических показателей может стать разработка комплексной масштабируемой медицинской диагностической системы, которая на основе проводимых измерений позволяла бы оперативно выявить нарушения в работе организма. В состав этой системы войдут подсистемы сбора и анализа данных. Подсистема сбора представляет собой одно или несколько мобильных устройств, размещаемых на теле человека, которые позволяют собрать информацию. Подсистема анализа может представлять собой как автоматизированное рабочее место врача, так и обычный персональный компьютер с установленным на нем специализированным программным обеспечением. Собираемые измерения записываются в базу данных, что позволяет анализировать данные за продолжительный период времени.

Разработка модуля измерения пульса

На первом этапе разработки медицинской системы обработки данных поставлена задача создать аппаратный модуль измерения частоты сердечных сокращений. Для этого было необходимо сконструировать принципиальную схему устройства, отвечающего всем указанным требованиям, а именно: высокая точность измерений, надежность, доступность и невысокая цена входящих в модуль элементов. Окончательный вариант схемы представлен на рисунке 1.

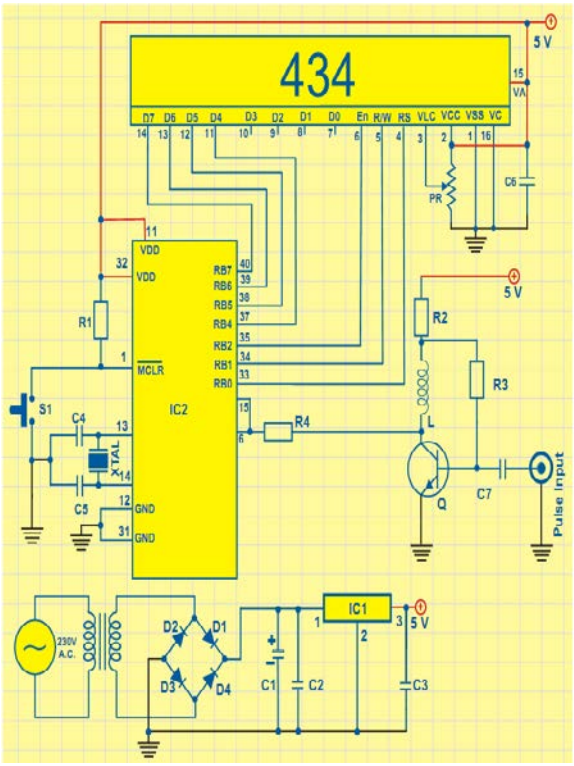


Рис.1. *Принципиальная схема модуля «Пульс».*

Использование микроконтроллеров в таких устройствах обусловлено их большими возможностями: быстродействие, малый ток потребления, богатая периферия, встроенный аналогово-цифровой преобразователь. В нашей же схеме используется 8-разрядный микроконтроллер PIC16F87 компании Microchip.

Концепция разрабатываемой медицинской информационной системы подразумевает наличие специального программного обеспечения, взаимодействующего с каждым аппаратным модулем и сочетающая в себе все необходимые

методы для правильной обработки поступающих данных, их представления пользователю. Связь с модулем осуществляется с помощью USB–интерфейса. Программа является своего рода «координационным центром» всей системы. Для цифрового пульсометра был написан программный модуль, входящий в состав аппаратно-программного комплекса (рисунки 2,3).

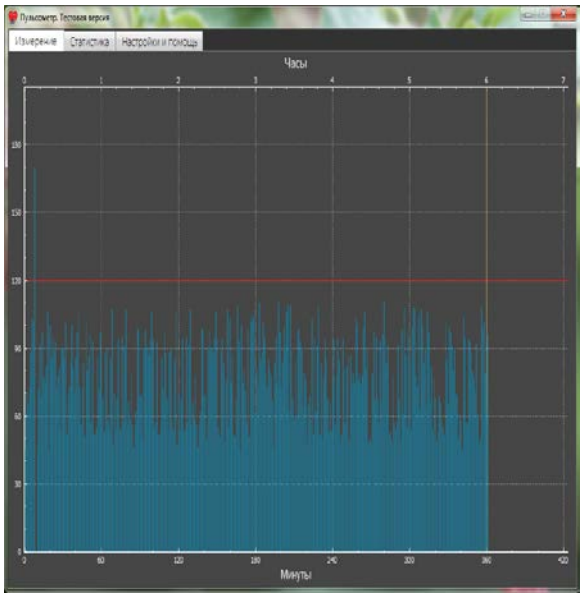


Рис.2. *Главное окно программы «Пульсометр».*

Рис.3. *Окно статистики программы «Пульсометр».*

Считывание данных с датчика пульса происходит автоматически после запуска программы. По результатам исследования вычисляются характеристики пульса (максимальное, минимальное и среднее значение), а также выводится отчет во внешний файл с указанием фамилии, имя и отчества пользователя.

Разработка программного кода

Для написания программного кода еще на стадии проектирования необходимо выбрать среду программирования, отвечающую всем поставленным требованиям, особенно если планируется дальнейшее внедрение проекта. В данном случае использовалась среда разработки Qt, которая обладает следующими преимуществами:

1. Приложения, написанные с помощью Qt, запускаются в большинстве современных операционных систем (в том числе и мобильных), а также не требовательны к аппаратным ресурсам компьютера. Это позволяет избавить медицинскую информационную систему от жесткой привязки к вычислительной машине;
2. Среда распространяется свободно;
3. Наличие удобных библиотек для работы с интерфейсами компьютера (библиотека Qextserialport), а также для построения графиков и гистограмм (библиотека QCustomPlot);
4. Качественная документация и интуитивно понятный интерфейс, позволяющие ускорить процесс разработки.

Тестирование и испытание системы

Медицинская информационная система, как и любая другая измерительная система, для обеспечения точности исследования и безопасности взаимодействия с пользователем, нуждается в тщательном испытании в условиях использования. Это помогает устранять ошибки на самом начальном этапе их возникновения.

Была собрана принципиальная схема модуля «Пульс» и установлено соединение с программным модулем. Показатели частоты сердечных сокращений успешно считываются с помощью датчиков и обрабатываются микроконтроллером. Данные с микроконтроллера по USB-порту передаются компьютеру, где происходит их дальнейшая обработка. Программный модуль успешно скомпилирован и распознает датчик пульса, строит правильные зависимости сердечных ударов от времени (проверка правильности измерений проводилась обычной пальпацией поверхностно лежащей артерии).

ПРИМЕНЕНИЕ БИОУПРАВЛЕНИЯ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА

Никитина М.А., Смаль Т.С., Ижболдина О.П.
Научный руководитель: Жукова И.А., канд. мед. наук
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, Московский тракт 2
E-mail: nikitina_ma@mail.ru

Актуальность. В большинстве исследований показана стабильность показателя заболеваемости болезни Паркинсона (БП) и тенденция к увеличению распространенности, связанная с «постарением» населения и улучшением выживаемости пациентов с БП. Предполагают, что указанная тенденция может привести к тому, что численность больных к 2030 году увеличится в среднем в 2 раза по сравнению с нынешним уровнем. На современном этапе медикаментозное лечение составляет основу комплексной терапии пациентов с БП и является пожизненным [1]. Через некоторое время постоянного приема высоких доз противопаркинсонических препаратов, возникают побочные эффекты, приводящие к снижению качества жизни пациентов с БП. Указанные обстоятельства диктуют необходимость поиска дополнительных, нелекарственных, подходов к лечению данной патологии. Среди многих немедикаментозных методов, выделяют метод, основанный на саморегуляции физиологических и психических функций посредством биологической обратной связи (БОС) [2].

Цель работы. Изучить эффективность применения метода функциональной саморегуляции на основе БОС в комплексном лечении пациентов с БП.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 43 пациента с БП, наблюдающихся в неврологической клинике СибГМУ. Возраст варьировал от 31 до 78 лет, средний возраст составил 64±10 лет. Средний возраст начала заболевания 56±12 лет; средняя продолжительность заболевания 7±6 лет. Пациенты были разделены на две группы: I- основная, 20 пациентов, получающих сеансы биорегуляции; II- контрольная, 23 пациента, у которых сеансы БОС-терапии не проводились. В обеих группах преобладали женщины (соотношение 7:13 и 10:13 соответственно), пациенты с акинетико-ригидно-дрожательной формой БП (61% и 52% соответственно), и развернутой стадией заболевания (в I группе – 56%; во II группе – 65%). Все пациенты получали стандартную противопаркинсоническую терапию, которая была стабильна в течение 3 месяцев до и во время проводимого исследования. Всем пациентам из I группы дополнительно к медикаментозному лечению проведено от 7 до 9 сеансов БОС-тренинга.

Курс БОС-терапии состоял из двух частей: вводная часть и обучение саморегуляции. Сеансы биорегуляции проводились с помощью реабилитационного психофизиологического комплекса «РЕАКОР», использующий принцип БОС, для проведения лечебных и профилактических немедикаментозных процедур (производство НПКФ «Медиком МТД», Таганрог).

Пакет программ БОС-тренинга включает многообразие универсальных, имеющих различное назначение БОС-процедур. Предусмотрены средства для модификации и адаптации предлагаемых процедур. Подсистема синтеза сценария процедуры позволяет заранее спланировать и задать все необходимые условия и параметры предстоящей тренировки в виде последовательности этапов саморегуляции, разделенных интервалами отдыха. Оценка эффективности проводимого лечения проводилась с учетом клинических, физиологических и психологических эффектов БОС-тренинга.

Разработана и реализована методика, основанная на БОС, с использованием управляемых физиологических электромиографических (ЭМГ) и электрокардиографических (ЭКГ) сигналов. Разработанная в результате исследования методика БОС-терапии позволит усовершенствовать процесс реабилитации пациентов с БП.

Разработан протокол БОС-тренинга для пациентов с БП, включающий 9 шагов: 1. Выбор одного или одновременно нескольких физиологических сигналов. 2. Для каждого из выбранных физиологических сигналов задаются параметры, рассчитывающиеся в реальном масштабе времени и предъявляющиеся пациенту в качестве сигнала обратной связи. 3. Задание необходимого количества и длительности этапов различных типов. Продолжительность сеанса БОС-тренинга не должна превышать 30 минут. Регистрация исходного фона 2-3 минуты, отдых 3-5 минут, управляемые этапы 5-7 минут, регистрация итогового фона 2-3 минуты. 4. Выбор форм предъявления аудиовизуальных стимулов и сигналов обратной связи из списка доступных образов зрительной, слуховой и тактильной модальностей. 5. Для каждого выбранного образа из библиотеки «Ресурсы» выбирается конкретное содержимое и параметры, с которыми он будет предъявляться пациенту на данном этапе. Имеется возможность записи собственных речевых инструкций. 6. Выбираются те свойства образов, которые предполагается использовать в качестве сигнала обратной связи, отражающего изменение контролируемых физиологических параметров. 7. Задаются границы диапазона, в котором изменения контролируемого параметра обусловливают пропорциональные изменения

выбранного свойства образа. 8. Просмотр совместной работы всех образов, используя генератор контролируемых параметров. 9. Присвоение наименования и сохранение нового сценария в библиотеке сценариев.

В ходе работы были определены показания к применению метода биоуправления: 1- р*елаксационный тренинг по параметрам сердечно сосудистой системы*. Релаксационный БОС-тренинг направлен на самостоятельное снятие эмоционального напряжения, предотвращение возможного стресса, переутомления. Формирование релаксационного состояния позволяло пациентам с БП адаптироваться к стрессовым ситуациям и снижало интенсивность дрожания. 2- для нормализации АД при ортостатической гипотензии у пациентов с БП успешно применялся *БОС тренинг на вариабельность сердечного ритма*. 3- э*лектромиографический БОС-тренинг* способствует уменьшению мышечной ригидности и болевых синдромов.

Разработан *комплексный сценарии*, в котором происходит одновременная регистрация двух физиологических параметров частоты сердечных сокращений (ЧСС) и мышечного напряжения. ЧСС+ЭМГ сценарий состоит из последовательных этапов разделенных между собой инструкциями: исходный фон – регистрация исходных параметров; этап 1 – БОС-тренинг на повышения вариабельности сердечного ритма; этап 2 – ЭМГ БОС-тренинг, на снижение мышечного тонуса; итоговый фон – регистрация физиологических параметров в покое.

Динамика неврологической симптоматики оценивалась с помощью выбранных клинических тестов до и после лечения: Степень тяжести оценивали по Шкале Хен и Яра (Hoehn and Yahr scale); двигательные расстройства – с помощью количественной шкалы по суммарному баллу III раздела Унифицированной рейтинговой шкалы оценки проявлений БП (Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS); эмоционально-аффективные нарушения выявляли с помощью Госпитальной шкалы оценки тревоги и депрессии (Hospital Anxiety and Depression Scale – HADS), Шкалы апатии (Apaty Scale – AS). Качество жизни определяли по опроснику «Краткий вопросник оценки статуса здоровья» – (MOS Shot-form 36-Item – MOS SF-36) Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ SPSS 17.0 for Windows. Уровень значимости по F-критерию $p \leq 0.05$. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании был принят равным 0.05 (p – достигнутый уровень значимости).

Результаты. В таблице 1 представлены изменения нейродинамических показателей психической деятельности в основной и контрольной группах.

Таблица 1. Динамика нервно-психических нарушений на фоне проводимой терапии

Группа БОС (N=20)				
Шкала	До лечения	После лечения	Критерий z	p
Апатия	8 (7-16)	9 (5-14)	-2.8	0.005
Тревога	10 (6-11)	9 (5-10)	-2.7	0.006
Депрессия	7 (5-10.5)	7 (4-8)	-2.1	0.032
Жизненная активность	52 (30-60)	53 (33-60)	-2	0.039
Контрольная группа (N=23)				
Апатия	13 (8-18)	13 (8-18)	-1.5	0.120
Тревога	6 (4-9)	6 (4-9)	-1	0.314
Депрессия	8 (6-10)	8 (6-9)	-1	0.285
Жизненная активность	50 (35-65)	50 (35-61)	-0.8	0.416

В группе обследуемых, у которых применялся БОС-тренинг наблюдалось улучшение – выявлено статистически значимое снижение показателей: апатия ($z=-2.8, p<0.05$), тревога ($z=-2.7, p<0.05$), депрессия ($z=-2.1, p<0.05$). Повышение уровня жизненной активности ($z=-2,0, p<0.05$). В контрольной группе статистически значимой динамики этих показателей после лечения не было.

Выводы. Применение метода функциональной саморегуляции на основе БОС в комплексном лечении пациентов с БП способствует уменьшению выраженности эмоционально-личностных нарушений и повышает качество жизни этой категории больных.

Возможными направлениями использования разработанной методики БОС-тренинга у пациентов с БП являются: коррекция моторных нарушений (тремор, мышечная ригидность, гипокинезия, постуральная неустойчивость); лечение когнитивных нарушений (нарушение памяти и внимания); лечение аффективных нарушений (тревога, депрессия, апатия); лечение вегетативных нарушений (ортостатическая гипотензия).

Список литературы:

1. Жукова, И.А. Экстрапирамидные двигательные расстройства: методическое пособие / И.А. Жукова, Р.В. Данильчук, Н.Г. Жукова. - Томск, 2009. – 75 с.

2. Оценка эффективности проведения реабилитационных процедур БОС-тренинга / А.И. Астахова, А.А. Скоморохов, Д.А. Скоморохов // Журн. «Известия южного федерального университета. Технические науки». – 2004. – Т. 41, № 6. – С. 32-35.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА

Оверчук К.В., Старчак А.С., Лежнина И.А.
Научный руководитель: Лежнина И. А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kirill_ovk@mail.ru

Карманный электрокардиограф предназначен для индивидуального использования человеком с целью отслеживания и выявления заболеваний сердца в домашних условиях. Подобное наблюдение за сердцем необходимо для людей, которые, прежде всего, уже перенесли различные заболевания сердечно - сосудистой системы, например в пост операционный период, а также для людей склонных к подобным заболеваниям. Использование прибора также поможет обнаружить заболевания на ранней стадии.

Одной из нескольких особенностей реализованных в приборе является возможность считывания электрокардиограммы с пальцев пациента, а для более подробного обследования в приборе реализована возможность подключения грудных отведении, что позволит произвести считывание ЭКГ в других проекциях.

К особенностям прибора можно отнести использование аналого - цифрового преобразователя большой разрядности, а именно сигма-дельта АЦП на 24 бита, это позволило отказаться от применения аналоговых фильтров в пользу цифровых фильтров. Такое исполнение прибора стало возможным благодаря использованию новой элементной базы.

Список основных элементов использованных в приборе описан в таблице 1.

Название элемента	Интерфейс взаимодействия
ADS1292	SPI
LCD Screen	SPI
SD Card	SDIO
Keyboard	GPIO
STM32F152	SWD

Таблица 1. Список элементов с интерфейсом взаимодействия.

Вычислительным ядром прибора является *ARM* контроллер 7-го семейства с встроенными аппаратными функциями *DSP* и *FPU*. Его мощности хватает для выполнения всех математических расчётов цифровых фильтров и для функционирования операционной системы реального времени, выполняющей необходимые функции и операции. Остальные элементы конструкции являются стандартными для приборов, которые взаимодействуют с человеком и компьютером.

Особого внимания заслуживает встроенное программное обеспечение. Разработка производилось в среде *CooCox CoIDE* которая предназначена для разработки программного обеспечения микроконтроллеров архитектуры *ARM*. Для компиляции исходного кода использовался *GCC compiler*, который входит в комплект *GNU Tools for ARM Embedded Processors*. Данные инструменты являются бесплатными и имеют очень хорошую поддержку. Для отладки использовалась отладочная плата *STM32F4Discovery*.

Как упоминалось ранее, основой особенностью является использование операционной системы (ОС) реального времени *FreeRTOS v4.7.2* [1]. Данная ОС имеет следующие возможности:

- многозадачность;
- синхронизация задач между собой;
- передача информации между задачами без потерь;
- запуск задач в четко заданных временных рамках;
- время отклика системы на внешнее воздействие не превышает 1 мс.

Благодаря использованию ОС удалось сократить время разработки посредством создания соответствующих задач [2]. Под термином «задача» подразумевается отдельная функция, создаваемая программистом, написанная на языке Си, которая выполняется в бесконечном цикле. Для контроля задачи имеются специальный набор API функций, описание которых можно найти на официальном сайте *FreeRTOS* [3].

В электрокардиографе было создано 6 задач для организации необходимого функционала в приборе. Описание задач провидено в таблице 2.

Задача	Функция
Keyboard Task	Ожидает прерывание от клавиатуры, при этом не занимает процессорного времени, сканирует нажатую клавишу, определяет её код и помещает код клавиши в очередь для других задач. Приоритет – 4.
Main Task	Отслеживает состояния всех задач и восстанавливает их состояние при сбое или зависаний функций. Приоритет – 3.
Menu Task	Выполняет функцию вывода меню на дисплей и выбора пунктов меню, что приводит к запуску соответствующих задач. Управляет задачами REC ECG Task, View Task, Demo Task. Приоритет – 2.
REC ECG Task	Выполняет основную функцию по считыванию ЭКГ из АЦП, записывает получение данные на SD карту, фильтрует и масштабирует для дальнейшего вывода в виде графика на дисплее. Особенность функции заключается в записи на SD карту не фильтрованных данных, в том виде в котором они были получены из АЦП. Это сделано с целью сохранения исходной формы сигнала и для возможности более глубокого анализа на компьютере с применением любых фильтров. Приоритет – 1.
View Task	Проверка и просмотр записанных данных. Приоритет – 1.
Demo Task	Несет только демонстрационный характер. Приоритет – 1.

Таблица 2. Описание задач в приборе.

Также стоит отметить, что для корректного отображения ЭКГ использовались два БИХ цифровых фильтра. Фильтр верхних частот с частотой среза в 1 герц убирает дрейф изолинии, который может составлять порядка 300 мВ, благодаря ему график ЭКГ не уходит за границы дисплея. Фильтр низких частот с частотой среза 45 Гц, предназначен для фильтрации сетевой наводки и других высокочастотных помех который сильно зашумляют график ЭКГ на дисплее. На рисунке 1 приведен снимок дисплея с применением фильтров.

Рис. 1. Снимок дисплея с применением фильтров.

Использование БИХ фильтров обусловлено тем, что при небольшом порядке фильтра они имеют большее ослабление сигнала на заданной частоте по сравнению с КИХ фильтрами.

Как результат всех выше описанных разработок, можно привести график полученных данных, считанных с *SD* карты, построенных при помощи программного пакета Mat Lab (рисунок 3).

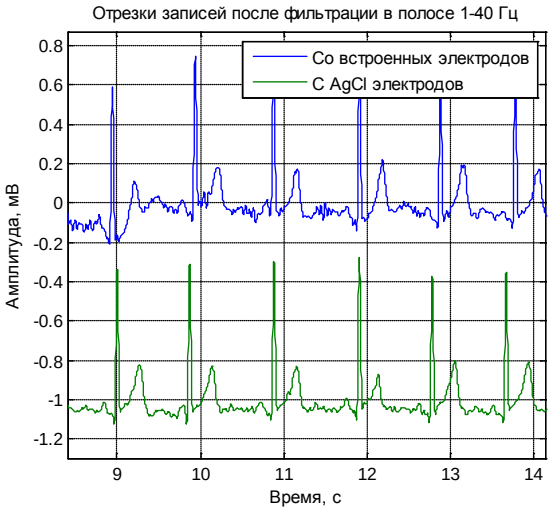


Рис. 2. ЭКГ пациента №1

На рисунке 3 представленно электро кардиограмма считаная с пальцев руки пациента. По полученным данным уже можно проводить простые методы анализа состояния сердца в виде ригистрации различных нарушений ритма.

Проект подержан грантом призидента РФ «Разработка и исследования емкостных электродов для бесконтакной диагностики и методики их применения для электрокардиографии».

Список литературы

1. Борисов-Смирнов А. Операционные системы реального времени для микроконтроллеров. //Chip news. 2012. № 5.
2. Сорокин С. Системы реального времени. //Современные технологии автоматизации. 2010. № 2.
3. http://www.freertos.org/a00106.html

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ В НЕРВНОМ ВОЛОКНЕ

Понетаева Е.Г., Григорьян Л.Р., Богатов Н.М.
Научный руководитель: Богатов Н.М., д.ф-м.н., профессор
Кубанский государственный университет, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
E-mail: bogatov@phys.kubsu.ru

Электрическая природа нервного импульса доказана в работах Ходжкина, Хаксли с сотрудниками [1, 2]. Моделирование биоэлектрических явлений – одно из современных направлений изучения процессов, протекающих в живых электровозбудимых структурах. В работах [3 – 6] разработана солитонная модель изменения трансмембранного потенциала нервного волокна при распространении по нему возбуждения. Точное аналитическое решение задачи распространения нервного импульса в рамках модели Ходжкина-Хаксли на основе интегрального преобразования Лапласа и теоремы Эфроса, когда входной импульс возбуждения отклоняется от ступенчатой функции Хевисайда, получено в [7]. Решение задачи распространения потенциала действия по нервному волокну для возбуждающего импульса произвольной формы дано в [8].

Целью данной работы является анализ изменения формы потенциала действия при его распространении в нервном волокне.

Модель распространения потенциала действия V обобщена с учетом генерация потенциала в каждом участке волокна:

$$\frac{r}{2\rho_a}\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - C_m\frac{\partial V}{\partial t} - \frac{V}{\rho_m l} + \frac{G(V)}{2\pi r} = 0,$$

где r – радиус аксона, ρ_a – удельное сопротивление аксоплазмы, C_m – емкость единицы площади мембраны, ρ_m – удельное сопротивление вещества мембраны, l – толщина мембраны, $G(V)$ – функция генерации, потенциал действия отсчитывается от потенциала покоя.

Проанализирован характер изменения формы импульсного сигнала в процессе распространения. Результаты расчетов изменения потенциала действия для сигнала, имеющего типичную форму импульса возбуждения, показаны в безразмерных единицах на рис. 1 – рис. 3. Наблюдаемый в аксоне импульс возбуждения является знакопеременным, типичная форма импульса промоделирована зависимостью 1 на рис. 1. Вид сигнала в координатных сечениях представлен на рис. 1, рис. 2, а распределение сигнала в аксоне в фиксированные моменты времени показано на рис. 3.

Максимум импульса возбуждения на входе в аксон $V_0'(t') = V'(x',t')|_{x'=0}$ расположен в точке $t' = 0{,}1$, а минимум – в точке $t' = 0{,}2$. В последовательных координатных сечениях (рис. 1, рис. 2) $x' = 0{,}1$; $x' = 0{,}25$; $x' = 0{,}5$; $x' = 0{,}75$; $x' = 1$; $x' = 1{,}25$; $x' = 1{,}5$ наблюдается последовательное уменьшение амплитуды и увеличение ширины импульса потенциала действия, так что при $x' > 2$ потенциал действия пренебрежимо мал. Максимум и минимум $V'(x',t')$ в этих сечениях последовательно смещается в направлении увеличения t' в соответствии со скоростью распространения импульса.

В фиксированные моменты времени (рис. 3) значение потенциала действия на границе $x' = 0$ возрастает при $t' \in [0; 0{,}1]$, убывает до отрицательных значений при $t' \in (0{,}1; 0{,}2]$ и возрастает до 0 при $t' > 0{,}2$ в соответствие с изменением $V_0'(t')$.

Изменение потенциала действия в сечениях $t' = const$ может иметь как монотонный (линии 1 и 2 на рис. 3), так и немонотонный характер (линии 3, 4 и 5 на рис. 3), что обусловлено формой возбуждающего импульса, а также тенденциями уменьшения амплитуды и увеличения ширины импульса потенциала действия в процессе распространения по нервному волокну.

Таким образом, показано, что генерация заряда в нервном волокне обусловливает увеличение эффективной длины и уменьшение фазовой скорости распространения сигнала, так что эффективное время распространения сигнала возрастает. Отсюда следует, что механизм распределенной генерации заряда в нервном волокне не выгоден, так как приводит к замедлению реакции биологического объекта.

Характерными закономерностями являются уменьшение амплитуды и увеличение ширины импульса потенциала действия. Сигнал, содержащий только низкочастотные составляющие, сохраняет свою форму в каждом координатном сечении, уменьшаясь по амплитуде. Увеличение ширины и асимметрии импульсного сигнала в процессе распространения обусловлено суперпозицией высоких частот.

Типичный импульс возбуждения имеет знакопеременную форму. В этом случае координатная зависимость потенциала действия в сечениях $t' = const$ может иметь как монотонный, так и немонотонный характер, обусловленный формой возбуждающего импульса, а также тенденциями уменьшения амплитуды и увеличения ширины импульса потенциала действия в процессе распространения по нервному волокну.

Скорость распространения нервного импульса v – один из важных физиологических показателей. Повышение скорости v за счет увеличения радиу-

са нервного волокна *r* наблюдается у головоногих моллюсков.

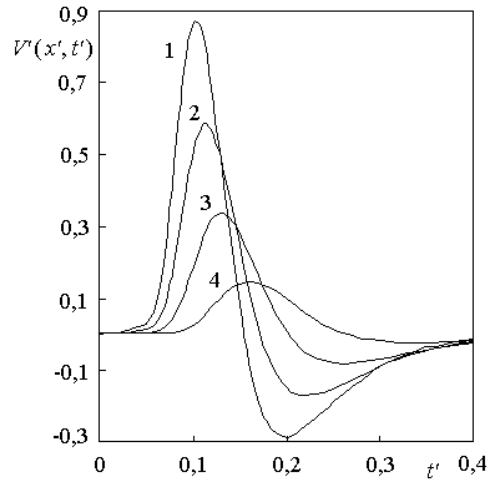


Рис. 1. Функция $V'(x',t')$: 1 – x' = 0; 2 – x' = 0,1; 3 – x' = 0,25; 4 – x' = 0,5

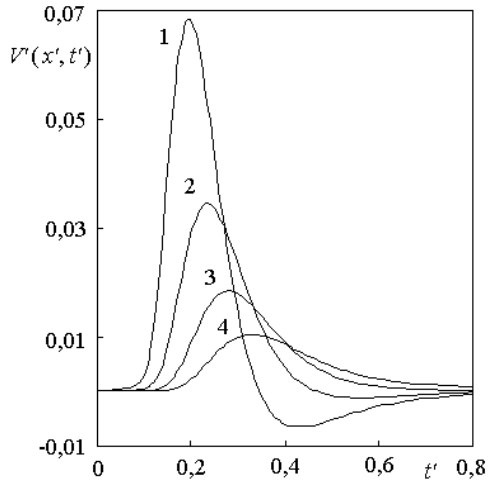


Рис. 2. Функция $V'(x',t')$: 1 – x' = 0,75; 2 – x' = 1; 3 – x' = 1,25; 4 – x' = 1,5

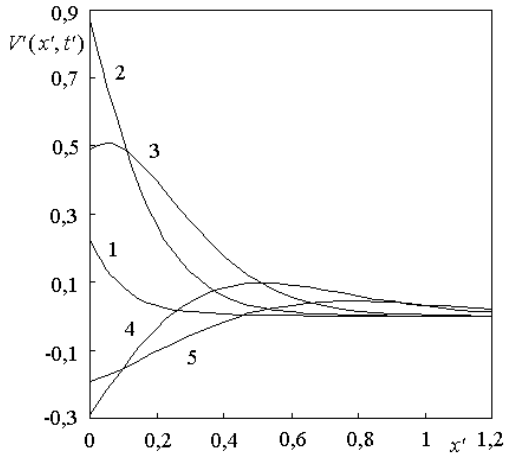


Рис. 3. Функция $V'(x',t')$: 1 – t' = 0,07; 2 – t' = 0,1; 3 – t' = 0,13; 4 – t' = 0,2; 5 – t' = 0,25

У позвоночных участки нервного волокна покрыты изолирующей миелиновой оболочкой. Миелин содержит много холестерина и мало белка, поэтому его удельное сопротивление ρ_m выше удельного сопротивления других биологических мембран. Толщина миелиновой оболочки *l* в сотни раз превышает толщину обычной клеточной мембраны. Это снижает фазовую скорость распространения сигнала. Высокая эффективность распространения сигнала в миелиновых нервных волокнах достигается в результате сальторного механизма распространения.

Список литературы

1. Hodgkin A. L., Rushton W. A. H. The electrical constants of a crustacean nerve fibre // Proc. Roy. Soc. London. 1946. Ser B. V. 133. P. 444-479.
2. Hodgkin A. L., Huxley A. F. A quantative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // J. Physiol. (London). 1952. V. 117. N4. P. 500-544.
3. Максименко Е.В. Аналитическая модель нервного импульса // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2003. Т. 10. Вып.3. С. 696-697.
4. Максименко Е.В. Использование уравнения Кортевега- де Фриза для моделирования трансмембранного потенциала в нервном волокне // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, серия «Естественно-научная». 2004. №1(7). С. 234-235.
5. Максименко Е.В. Моделирование распространения нервного импульса с использованием ЭВМ // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2004. Т. 11. Вып.2. С.368-369.
6. Максименко Е.В. Об использовании математических методов в биологических исследованиях // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2005. Т. 12. Вып. 2. С. 431-432.
7. Селезов И.Т., Морозова Л.В. Обобщение задачи возбуждения и распространения потенциала действия по нервному волокну // Прикладна гідромеханіка. 2010. Т. 12. N. 3. С. 75-83.
8. Богатов Н.М., Григорьян Л.Р., Понетаева Е.Г. Моделирование распространения электрического импульса в нервном волокне // Коллективная монография. Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий. Краснодар: Краснодарский ЦНТИ, 2012. С. 33 – 44.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА

Порхунов А.А., Лежнина И.А., Уваров А.А.
Научный руководитель: Лежнина И.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: arti92_uk@mail.ru

По данным официальной медицинской статистики [1, 2], сердечно-сосудистые заболевания – главная непосредственная причина инвалидности и смертности населения во всех странах мира. Ежегодно от болезней сердца умирают около 17 миллионов человек, что составляет примерно 29 % всех случаев смерти (табл. 1).

Таблица 1.

Болезни	Случаи смерти (в млн.)
Ишемия	7.20
Инсульт	5.71
Аритмия	3.80
Всего смертей	17.3

Поэтому в последнее время становится актуальной разработка прибора для быстрой и удобной регистрации кардиосигнала, который позволит своевременно измерять ЭКГ и при необходимости сразу же обращаться к лечащему врачу. Основная задача - сделать измерение ЭКГ таким же простым и доступным, как измерение, к примеру, давления или температуры.

Для удовлетворения данной потребности, в мире создано порядка 10 моделей подобных приборов, позволяющих эффективно измерять ЭКГ. Причем все электрокардиографы индивидуального применения можно разделить на две категории: домашние и портативные («карманные»).

Рис.1. Разрабатываемый прибор.

Домашние электрокардиографы представляют собой приборы с простой структурой и низкой ценой, не имеющие собственных органов управления, и используются как приставка к персональному компьютеру, на который устанавливается специальное ПО. Измерение ЭКГ проводится стандартным способом и предполагает самостоятельное наложение электродов, запись передается в центр диагностики, где обрабатывается специалистом. Такой прибор мобилен, но его нельзя использовать на ходу.

Наиболее известными домашними электрокардиографами являются:

- «Кардиометр-МТ», производитель ЗАО «МИКАРД-ЛАНА» (цена ≈ 17000 руб.)
- «Миокард-12», производитель ООО «НИМП ЕСН» (цена ≈ 30000 руб.)
- «HeartView P12/8 Plus», производитель ООО «МедТелеСервис» (цена ≈ 25000 руб.)
- «Кардиоджет», производитель ООО «Медицинские Телеметрические Системы»

В отличие от домашних, карманные электрокардиографы представляют собой законченные устройства. Они позволяют получить приблизительный анализ сразу после измерения и при необходимости отправить запись на более подробную обработку. В таких приборах отсутствуют провода, а измерение производится с помощью электродов, встроенных в корпус. Чтобы измерить ЭКГ, необходимо приложить пальцы рук к электродам и подождать некоторое время, пока идет запись. Главное преимущество карманных электрокардиографов – портативность и возможность получить диагноз, пусть и приблизительный, в любое время в любом месте, что особенно актуально для людей, страдающих от болезней сердца.

Таблица 2.

Параметр	«Кардио джет»	«Армед PC-80B»	«Кардио-метр-МТ»
Диапазон частот, Гц	0,05…100	0,5…40	0,5…60
Тип	Домашний	Карманный	Домашний
К-во отвед.	12	1+3 доп.	12
Получаемый диагноз	Ишемия, инфаркт, нарушения ритма	Нарушения ритма	Ишемия
Цена	≈20000 р	≈8000 р	≈17000 р

Карманные электрокардиографы появились всего 5-6 лет назад, и пока что на рынке всего несколько аналогов:

- «Армед PC-80A» и «Армед PC-80B», производитель «Армед» (цена ≈8000 руб.)
- «HeartCheck PEN» (цена ≈ 259$)

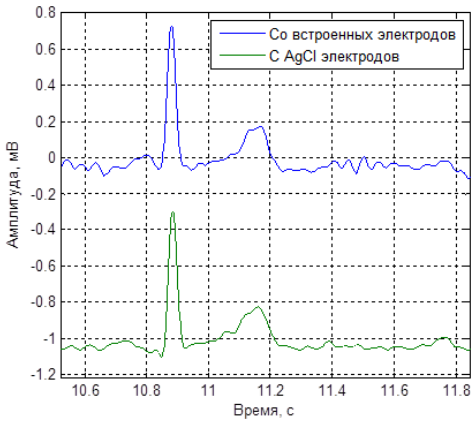


Рис.2. Отрезки записей после фильтрации в полосе 1-40 Гц.

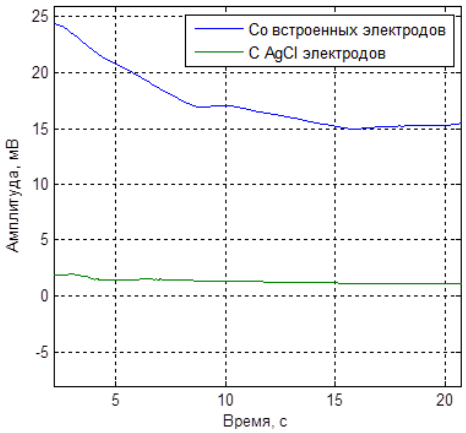


Рис.3. Дрейф изолинии.

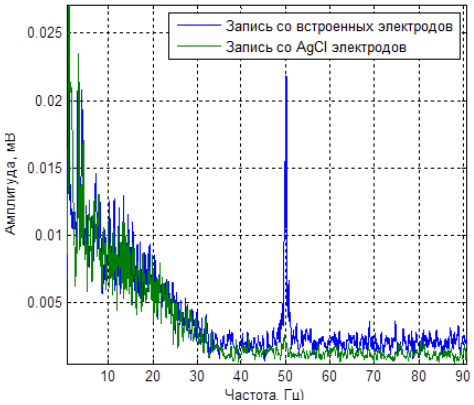


Рис.4 Амплитудные спектры записей.

• «AliveCor Heart Monitor» (приставка для iPhone со встроенными электродами, цена ≈ 199$)

В таблице 2 приведены основные характеристики наиболее известных и распространенных в России домашних и карманных электрокардиографов.

Основная проблема заключается в том, что нет приборов совмещающих достоинства домашних, и карманных электрокардиографов (т.е. мобильность и информативность), поэтому нами реализуется проект по созданию собственного карманного электрокардиографа. На первой стадии создается прибор (рис.1), имеющий функции стандартного карманного электрокардиографа и служащий для отработки новых решений.

В качестве основы прибора была выбрана интегральная микросхема *ADS*1291 компании *Texas Instruments* [3]. В данной микросхеме реализованы специфические функции и компоненты, характерные для измерения сигналов биологического происхождения: инструментальные усилители, аналоговые фильтры, необходимые для построения прибора медицинской направленности, а также встроенный ∑Δ аналого-цифровой преобразователь.

Также прибор оснащен *OLED*-дисплеем высокой контрастности, трехкнопочной клавиатурой и автономным питанием от батареек типа *AAA*. Запись сигнала производится на *SD*-карту, которую впоследствии можно подключить к ПК для переноса записей.

Для анализа качества сигнала, полученного со встроенных электродов, нами были исследованы предварительные исследования. Проводилась регистрация ЭКГ у пяти человек через встроенные и качественные медицинские *AgCl* электроды.

В результате установлено, что встроенные электроды:

• не искажают формы сигнала и таким образом не влияют на качество диагностики (рис. 2);

• имеют более высокий уровень дрейфа собственного потенциала, порядка 0.2 ÷ 1.1 мВ/с (рис. 3);

• чувствительны к электромагнитным помехам, в частности, уровень сетевой наводки порядка 20 раз больше, чем у *AgCl* элеткродов (рис. 4).

Указанные недостатки устраняются в процессе дальнейшей работы, новые результаты будут показаны в следующих публикациях. По оценкам кардиологов существует большая потребность в создаваемой аппаратуре

Проект поддержан грантом Президента РФ «Разработка и исследования емкостных электродов для бесконтактной диагностики и методики их применения для электрокардиографии».

Список литературы:

1. Всемирная Организация Здравоохранения. Сердечно-сосудистые заболевания. Информационный бюллетень № 317. Март 2013 г.

2. Global atlas on cardiovascular disease prevention and control. Geneva: World Health Organization; 2012.

3. Texas Instruments. Low-Power, 2-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements. [http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1291.pdf

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ИМПЛАНТАЦИИ ЗУБОВ

Путрик М.Б., Лаврентьева Ю.Э., Анцыгин И.Н.
Научный руководитель: Шульгин Б.В., д.т.н., профессор
Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н.Ельцина,
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19
E-mail: pmb-88@mail.ru

Аннотация: В данной статье описывается новый способ моделирования хирургических шаблонов для операций имплантации зубов. Этот метод является очень удобным для стоматологов и хирургов, так как отсутствует необходимость выполнять ручные операции и использовать дорогостоящее оборудование (например, трехмерную оптическую камеру). Приведен пример применения указанного метода к изображениям, полученным методом «микрокомпьютерной» томографии.
Ключевые слова: компьютерная томография, рентгенология, стоматология, имплантация.

Введение

Одним из методов восстановления утраченных зубов является метод имплантации. Данный метод подразумевает выполнение хирургической операции, во время проведения которой стоматолог – хирург посредством специального сверла подготавливает место в челюстной кости для постановки имплантата. Далее на имплантат устанавливается абатмент, а на абатменте фиксируется коронка.

Цель данной работы – разработать технологию моделирования хирургических шаблонов исключительно по данным обследования, выполненного методом компьютерной томографии. Для реализации указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработан метод построения поверхности зубного ряда по данным рентгенологического обследования челюстно – лицевой области;
2. Разработан метод выполнения отверстий цилиндрической формы в виртуальном изображении слепка зубного ряда.

Планирование операции имплантации зубов

Операция имплантации включает в себя следующую последовательность этапов: обследование челюстно-лицевой области методом компьютерной томографии, виртуальное планирование операции имплантации, моделирование и изготовление индивидуального хирургического шаблона, операция с использованием хирургического шаблона. Рассмотрим перечисленные этапы более подробно.

-Компьютерная томография.

В данной работе использовался компьютерный томограф с коническим лучом GALILEOS. Результаты обследования сохраняются в формате DICOM с разрешением 512x512x512 точек и размером вокселя 0.3x0.3x0.3 мм.

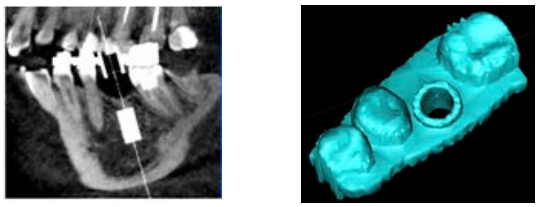
-Виртуальное планирование операции имплантации.

После проведения обследования методом компьютерной томографии выполняется виртуальное планирование операции имплантации, которое заключается в грамотном расположении модели имплантата, имеющего форму цилиндра, внутри челюстной кости.

-Моделирование и изготовление индивидуального хирургического шаблона.

После проведения виртуального планирования необходимо изготовить индивидуальный хирургический шаблон. Данный шаблон применяется для того, чтобы выполнить операцию имплантации в соответствии с результатом виртуального планирования. Существует стандартная последовательность этапов, предлагаемых зарубежными компаниями [1], суть которых заключается в том, что вручную моделируют композиции отсутствующих зубов, переносят эти композиции на рентген-контрастную пластинку, сканируют пациента на компьютерном томографе с этой пластинкой в полости рта, затем пластинку извлекают, и в ней выполняют отверстия для сверла на основе данных виртуального планирования. Многочисленные и трудоемкие этапы, выполняемые вручную, увеличивают как погрешность, так и стоимость конечного продукта.

В данной работе предлагается технология моделирования хирургических шаблонов исключительно на основе данных метода компьютерной томографии: программным путем выполняется построение границ существующих зубов, а на месте отсутствующих зубов выполняется сплошная заливка некоторой области, в которой расположены отверстия цилиндрической формы, предназначенные для пилотного сверла, – изображение сечения такой модели приведено на рис. 1 а.



а б

Рис. 1. Моделирование хирургического шаблона

Виртуальное изображение хирургического шаблона (рис. 1 б) получается путем сшивки участков поверхности, полученных на каждом из поперечных срезов. Изображение хирургического шаблона (рис. 1 б) было конвертировано в формат STL и изготовлено (рис. 2) на специальном устройстве (3D принтере) методом быстрого прототипирования [1].

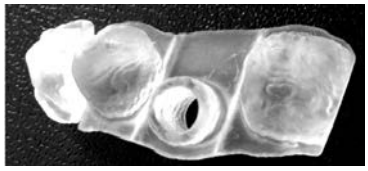


Рис. 2. Прототип хирургического шаблона

Преимуществом использования хирургических шаблонов является высокая точность постановки имплантата при отсутствии необходимости скелетирования кости и разреза слизистой оболочки. Данный шаблон изготавливается из биосовместимых материалов и не вызывает раздражений тканей операционного поля.

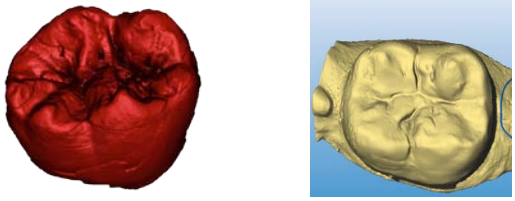
Перспективы применения метода компьютерной томографии в стоматологии

Опыт показывает, что разрешение изображений, полученных на компьютерном томографе с коническим лучом, является недостаточным для эффективной диагностики и планирования лечения патологии челюстных костей. В частности, планирование эндодонтического лечения не может быть выполнено корректно, поскольку на полученных изображениях не удается достоверно различить все особенности строения каналов зубов [2].

Среди компьютерных томографов существует отдельный класс аппаратов, обеспечивающих высочайшее разрешение (до 1 мкм на пиксель) изображений сечений исследуемых образцов. Такие аппараты получили название «микрокомпьютерные» томографы. Однако, в настоящее время применение подобных аппаратов ограничено – они подходят только для исследования образцов «инвитро» и не пригодны для проведения клинических обследований. Несмотря на данное ограничение, технология микрокомпьютерной томографии получила широкое распространение в области стоматологии. Так, например, исследованы различные методики лечения кариеса зубов [3]: образцы удаленных зубов были подвергнуты сканированию на микрокомпьютерном томографе до и после применения различных техник лечения.

Применение хирургических навигационных шаблонов, смоделированных на основе данных микрокомпьютерной томографии, позволит существенно повысить точность позиционирования имплантата, благодаря тому, что поверхность данного шаблона, изготавливаемого методом быстрого прототипирования, будет в точности повторять поверхности зубов и мягких тканей.

Авторами разработан алгоритм программы построения поверхности слепка зубного ряда, который был применен к изображениям, полученным методом микрокомпьютерной томографии. В результате получена поверхность слепка зуба высочайшего разрешения (рис. 3 а) – данное изображение сравнимо по качеству с изображением, выполненным посредством интраоральной трехмерной оптической камеры (рис. 3 б).



а б

Рис. 3. Изображения зуба высокого разрешения

Внедрение микрокомпьютерной томографии позволит также корректно проводить совмещение оптических и рентгеновских изображений, имеющих сходное разрешение. Таким образом, будет обеспечено выполнение безопасных и прецизионных хирургических операций имплантации зубов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ряховский А.Н. Цифровая стоматология. – М.: ООО «Авантис», 2010. – 282 с.

[2] Caries-removal effectiveness and minimal-invasiveness potential of caries-excavation techniques: A micro-CT investigation / Aline de A. Neves, Eduardo Coutinho, Jan De Munck, Bart Van Meerbeek // Journal of dentistry: Elsevier, 2011.- №39-p. 154–162.

[3] A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth / P. Verma, R.M. Love // International Endodontic Journal: John Wiley & Sons Ltd, 2010.- Vol.44, Issue 3-p.210-217

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ МАТЬ-ПЛОД

Рипенко В.С., Горбачёва А.С., , Толмачев И.В.
Научный руководитель: Толмачев И.В.,
ФГБОУ ВПО НИ ТГУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России634050, г.Томск, Московский тракт, 2

E-mail vstk91@mail.ru

Нормальное развитие плода определяется постоянной координацией функций двух организмов - матери и плода, которая осуществляется в рамках возникающей во время беременности особой функциональной системы мать-плод.

Многие клинико-экспериментальные наблюдения показывают, что нарушения в работе какого-либо органа матери ведет к изменениям функционального состояния плода. Независимо от причин, приводящих к изменениям функционального состояния, плод отвечает универсальными реакциями - перестройкой деятельности сердечно-сосудистой системы и перераспределением кровообращения. Первичной реакцией плода на стрессовое воздействие является изменение структуры сердечного ритма, а затем сильные шевеления.

Причиной создания систем наблюдения за состоянием плода в течение беременности стала необходимость обнаружения изменений функционального состояния плода с возможностью вмешательства специалиста прежде, чем наступят необратимые изменения. Существующие методы исследования, предназначенные для оценки состояния плода на основе анализа сердечного ритма, обладают рядом недостатков, таких как высокая цена и низкая специфичность. Решением проблемы было бы создание программно-аппаратного комплекса позволяющего неинвазивно мониторировать, и оценивать функциональное состояние плода на основании анализа сигналов, регистрируемых с абдоминальных электродов. основная цель данной работы – разработка системы оценки функционального состояния системы мать-плод на основе анализа электрокардиограммы

Задачи исследования

1. Сформулировать требования к мобильному устройству для регистрации электрофизиологических сигналов с поверхности живота беременной.
2. Разработать мультиплатформенное программное приложение для записи, отображения и передачи информации о функциональном состоянии матери и плода.
3. Разработать алгоритм для обработки сигналов полученных с абдоминальных электродов, с возможностью реализации в «облаке».

В настоящей работе используется носимый прибор для оценки функционального состояния системы мать – плацента – плод, предназначенный для непрерывной длительной регистрации электрофизиологических сигналов, создаваемых сердцем плода, активностью миокарда матери (фетальная и материнская электрокардиограмма, ФЭКГ, ЭКГ) и вариациями электрического сопротивления околоплодной жидкости (абдоминальная реограмма, АР). Данный прибор был разработан сотрудниками ГБОУ ВПО СибГМУ и ФГБОУ НИИ ТПУ

Программный комплекс БТС состоит из трех основных исполняемых модулей: программы для микроконтроллера adc, программы Pregnancy реализованной на мобильном устройстве, программы FetalECG расположенной на локальном компьютере, либо в «облаке».

Рисунок 1. Общая схема передачи данных между компонентами комплекса

Основные требования к программному обеспечению микроконтроллера:

Функциональным назначением программы является обеспечение управления прибором для регистрации биопотенциалов. Встраиваемое программное обеспечение должно обеспечивать:

1) Управление процессом сбора первичных данных (регистрацию биопотенциалов);
2) Предварительную цифровую обработку полученных сигналов;
3) Передачу сигнала на персональный компьютер;
4) Слежение за уровнем заряда батареи питания.
5) Программа должна эксплуатироваться исключительно с оригинальным прибором регистрации биопотенциалов.

Программное приложение Pregnancy на мобильном устройстве включает в себя рабочие формы:

1. Главная форма для управления (Рис. 2) включает в себя:

Рисунок 2. Главная форма программного приложения Pregnancy

- Кнопку для связи с Базой данных, общие данные о пациенте;
- Кнопка для вызова справки;
- Кнопку «Начать новый сеанс», используется для начала работы, если нет связи с прибором, то появляется сообщение;
- Кнопку «Сбросить сеанс», нажимается при необходимости остановить сеанс;
- Кнопку «Удалить сеанс», нажимается при необходимости удалить сеанс;
- Три поля отображения сигналов регистрируемых с абдоминальных электродов (посередине экрана);
- Поле отображения интервалограммы матери (в нижней части экрана);
- Поле для отображения ЧСС матери (в верхнем левом углу экрана).

2. Форма справочной информации :
- Справка пользования программой;
- Справка о характеристиках КИГ;

3. Форма для БОС-тренинга (Рис. 3). На ней располагаются изображения (анимированные картинки), которые предъявляются пациентке для контроля за величиной ЧСС.

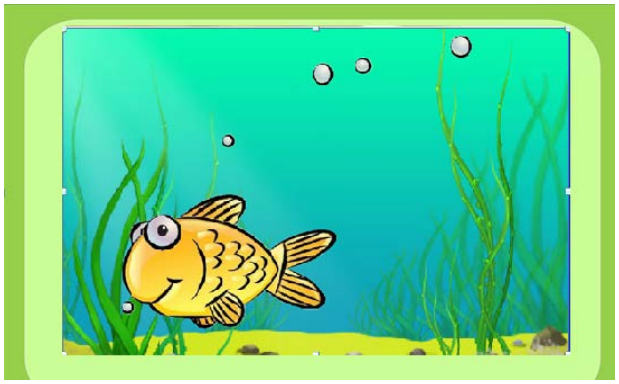


Рисунок 3 Форма для БОС-тренинга

4. Форма для отображения результатов обследования (Рис. 4). Содержит таблицу с характеристиками КИГ матери и плода, график динамики данных характеристик в нижней части формы.

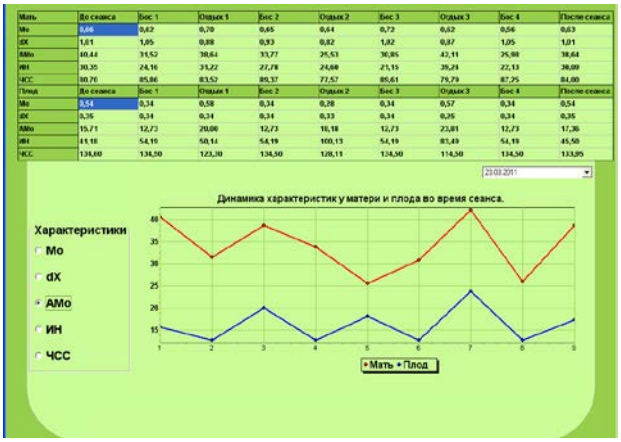


Рисунок 5. Форма для отображения результатов обследования

Программа FetalECG должна осуществлять функцию разделения и итоговой обработки сигнала, идеальное решение размещение программного приложения в «облаке»

Список использованной литературы:

1. Баевский, Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии./ Р.М. Баевский. - М.: Медицина, 1979. – 295 с.

2. Трусов Ю.В. Функциональные состояния плода. - М.: МЕДпресс-информ, 2003. – 120с.

3. Пеккер, Я.С. Разработка методики и программно-аппаратного комплекса для мониторирования и неинвазивной оценки состояния матери и плода в перинатальный период, на основе анализа электрических сигналов, получаемых с абдоминальных электродов. / Я. С. Пеккер, Е. Ю. Киселева, И. В. Толмачев // Биотехносфера. - 2010. / No.1. - С. 12-16

4. Hon, E. H. Instrumentation of fetal heart rate and electrocardiography: II. A vaginal electrode /E. H. Hon// Am. J. Obstet. Gynecol. 86:772, 1963.

ХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЯДРА ХРУСТАЛИКА

Руденко Е.Ю.
Научный руководитель: Гаврилин А.Н. к.т.н., доцент, Запускалов И.В. д.м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rudenkoevgeny90@mail.ru

В настоящее время базовым методом хирургии катаракты с использованием малых тоннельных разрезов является ультразвуковая эмульсификация.

Поэтому в последние годы альтернативой «энергетическим» методам удаления катаракты появились предложения воспользоваться «механической» (т.е. без использования ультразвука или лазера) методикой, где помутневший хрусталик и его ядро удаляются через различные тоннельные разрезы [2]

Изобретение относится к медицине, а именно к офтальмологии, и может быть использовано для разрушения ядра хрусталика при катаракте. Предлагаемое устройство для факофрагментации позволяет производить разрушение ядер хрусталика любой плотности. [7]

Ротационный факофрагментатор содержит корпус 1, в котором размещены следующие узлы: механизм разрушения ядра 2 , система настройки осевого смещения внутренней иглы относительно наружной 3 и аспирационная система 4. Причем внутренняя игла имеет осевое смещение относительно наружной на величину, определяемую плотностью хрусталика и другими факторами. Механизм разрушения ядра 2 выполнен в виде двух размещенных одна в другой игл, внутренняя из которых имеет возможность вращения от электродвигателя 5, а также является быстросменной одноразовой. Вращение внутренней иглы происходит со скоростью, которая может изменяться в широком диапазоне. Конец внутренней подвижной иглы при своем вращении производит разрушение ядра хрусталика, а аспирационная система удаляет разрушенные хрусталиковые массы вместе с промывочной жидкостью, подающейся через отдельную трубку.[6]

Практическим результатом изобретения является упрощение конструкции, улучшение технических параметров факофрагментатора, а также уменьшение времени для разрушения ядра хрусталика и тем самым снижением отрицательного воздействия на ткани переднего и заднего отрезков глаза. Режущие кромки внутренней иглы имеют заострения, выполненные в условиях массового производства, и не требуют заточки и стерилизации, что обуславливает ее стерильность и низкую стоимость.[5] Герметизация вышеуказанных неподвижных соединений осуществляется при помощи уплотнительных колец [1]

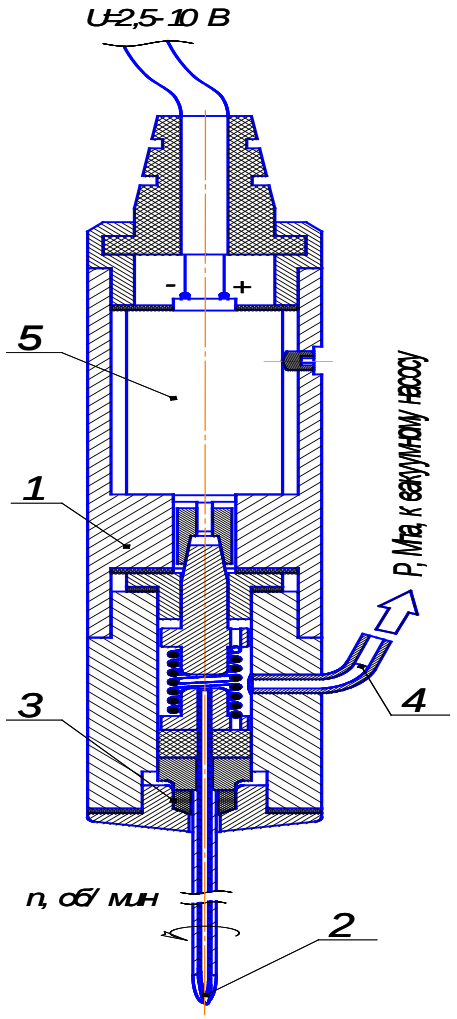


Рис. 1. Ротационный факофрагментатор

Ротационный факофрагментатор входит в комплекс по удалению ядра хрусталика глаза.

Данный комплекс выполнен в мобильном варианте и позволяет проводить операции в чрезвычайных ситуациях, применять их в машинах скорой помощи и не требует большой площади для его размещения.

Комплекс работает следующим образом:

Промывочная жидкость вводится в предварительно сделанный разрез при помощи иглы 4, из емкости 1, по трубопроводу 3, расход жидкости регулируется электроуправляемым вентилем 2. Игла ротационного факофрагментатора 5 вводится в предварительно сделанный разрез и при помощи электродвигателя приводится во вращение, внутренняя игла вращается относительно наружной и за счет этого происходит разрушение хрусталика. По

трубопроводу 6 отводятся разрушенные массы, за счет вакуума, создаваемым вакуумным насосом 14к, расположенным в блоке 14, давление в вакуумной полости регулируется дросселем 7. Управление вентилем аспирационной системы 8 осуществляет врач, при помощи четырех позиционной педали управления приводами комплекса 16, педаль коммутируется с блоком управления 15, разрушенные массы хрусталика вместе с промывочной жидкостью поступают в емкость 18, которая соединена при помощи трубопровода 17 с ресивером 9. 9-ресивер служит для поддержания постоянного давления в системе. Трубопровод 12 служит для соединения ресивера с вакуумным насосом. Контроль давления в полостях осуществляется манометрами 10, 11. 13-Обратный клапан для предотвращения изменения направления потока среды в технологической системе. 14д-Электродвигатель служит для передачи крутящего момента вакуумному насосу. 19-Источник питания служит для обеспечения устройств комплекса электрическим питанием. 20-Фильтр служит для фильтрации и очистки потока рабочих среды. Б-Блок электроуправления. Хр-Хрусталик глаза. [2]

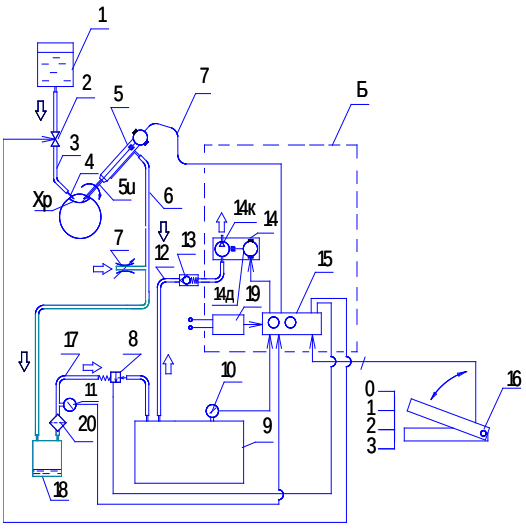


Рис. 2. Хирургический комплекс для проведения операции по разрушению ядра хрусталика глаза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах, Том 1. - 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. - 920 с., ил.

2. *Балашевич JL И.* Экономические и профессиональные проблемы внедрения факоэмульсификации катаракты. // Современные технологии хирургии катаракты: Сб. науч. тр. -М., 2001. С. 35-39.

3. *Свешников В.К., Усов А.А.* Станочные гидроприводы. Справочник. — 2-е изд , перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1988. — 512 с. ил.

4. *Свешников В.К.*Гидрообору-дование. Международный справочник. (Кн. 1-3) Свешников В. К. Год выпуска: 2001, 2002, 2003.

5. ГОСТ Р ИСО 7864-2009, Иглы инъекционные однократного применения стерильные

6. *Гаврилин А.Н., Екимов А.С., Запускалов И.В., Черкасов А.И.* Ротационный факофрагментатор для разрушения хрусталика //.Заявка: 2006100664/22, 10.01.2006

7. *Гаврилин А.Н., Кокова А.А., Мойзес Б.Б.* Устройство для разрушения ядра хрусталика / Современные проблемы машиностроения: Труды IV Международной научно-практической конференции – Томск, ТПУ, 26–28 ноября 2008. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – С. 439-443

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФАНТОМОВ

Синицын А.С., Богатов Н.М.
Научный руководитель: Богатов Н.М., д.ф-м.н., профессор
Кубанский государственный университет, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
E-mail: bogatov@phys.kubsu.ru

В настоящее время развиваются методы целенаправленного нагревания тканей организма с целью активизации или подавления химико-биологических процессов: местная (локальная), региональная и гипертермия всего тела. Местная гипертермия требует высокой степени контроля воздействий на ткань.

В работах [1 – 4] обсуждаются диагностические возможности магнитно-резонансной томографии для определения состояния ткани при температурных воздействиях на внутренние органы. Методика определения внутренней температуры тела с помощью ЯМР активно развивается [5]. Для объемной МР термометрии используются методы, основанные на получении резонанса от протонов в составе различных молекул исследуемого объекта [6 – 8]: воды и жира, метилена, липидов и др.

Разнообразие методов построения тепловых изображений с помощью МРТ обусловлено многофакторностью влияния температуры на состояние живого объекта, что выражается в температурной зависимости параметров: времени продольной (спин-решеточной) релаксации T_1, времени поперечной (спин-спиновой) релаксации T_2, намагниченности M_0, коэффициента диффузии D, химического сдвига δ.

Времена релаксации T_1, T_2 зависят от индукции магнитного поля, поэтому для разработки методики магнитно-резонансной термометрии необходимо исследовать эти эффекты.

Целью данной работы является цифровой анализ T_1 и T_2 МРТ изображений фантомов с различной постоянной по объему температурой.

Фантомы – полиэтиленовые пакеты 500 мл с 0,9% раствором натрия хлорида для инфузий, исследовались на магнитно-резонансном томографе 1 Тл Panorama HFO 1.0. Анализировалось изменение времени спин-решеточной релаксации протонов T_1 и спин-спиновой релаксации протонов T_2. Значения интенсивности сигнала T, на основе которых построены изображения, нормированы так, что $T \in [0, 255]$. Повышение разрешающей способности достигалось использованием псевдоцветовой палитры МРТ изображений. Температура исследуемых объектов t измерялась с помощью контактного термодатчика Nihon Konden BSN 2301K.

На рис. 1 показаны T_1 изображения трех фантомов A, B, C с различной температурой, полученные с помощью импульсной последовательности FFE (Fast Field Echo).

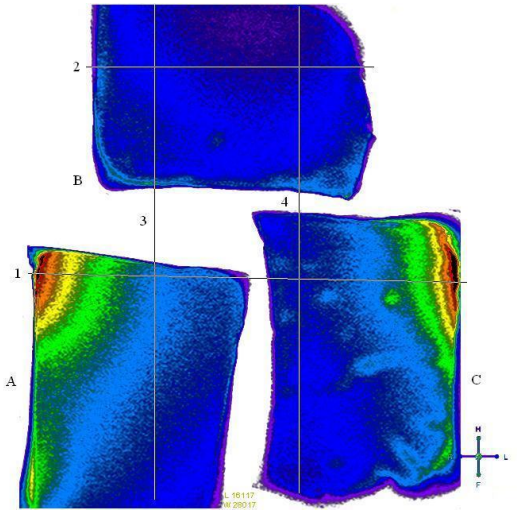


Рис. 1. T_1 –взвешенное изображение трех однородных фантомов A, B, C с различной температурой в горизонтальном сечении: A – t_A = 19,8 °C; B – t_B = 24,9 °C; C – t_C = 26,6 °C

На рис. 2, рис. 3, рис. 4, рис. 5 приведена зависимость интенсивности сигнала T от длины L, измеряемой в пикселях, для линий 1, 2, 3, 4 (рис. 1), соответственно.

Из данных, представленных на рис. 1 – рис. 5, следует, что при заданных значениях температуры фантомов A, B, C неоднородность распределения индукции магнитного поля оказывает более существенное влияние на изменение времени спин-решеточной релаксации T_1, чем температура. Такой же вывод следует из анализа T_1 изображений фантомов A, B, C, полученных в проекциях, перпендикулярных, проекции рис. 1.

Аналогичный анализ T_2 –взвешенных изображений, полученных с помощью импульсной последовательности TSE (Turbo Spin Echo) демонстрирует достаточно однородное распределение интенсивности цвета.

Таким образом, показано, что неоднородность распределения индукции магнитного поля оказывает существенное влияние на изменение времени спин-решеточной релаксации T_1. Этот факт необходимо учитывать при разработке методики объемной термометрии, использующей измерение T_1.

T_2 –взвешенные изображения однородных фантомов имеют достаточно однородное распределение интенсивности цвета, поэтому их целесообразно использовать для идентификации температурного состояния объектов. Однако в этом случае возрастают требования к точности модели, описывающей зависимость времени спин-

спиновой релаксации T_2 от индукции магнитного поля, температуры и химического состава исследуемого вещества.

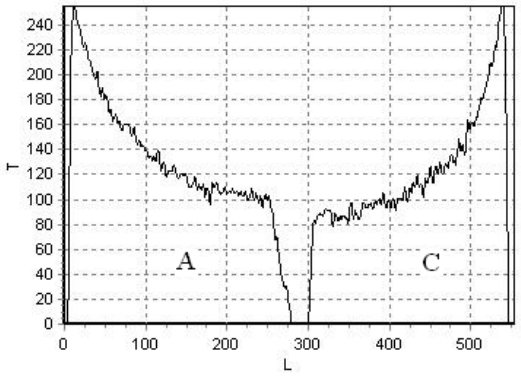


Рис. 2. Распределение интенсивности сигнала *T* вдоль линии 1 рис. 1

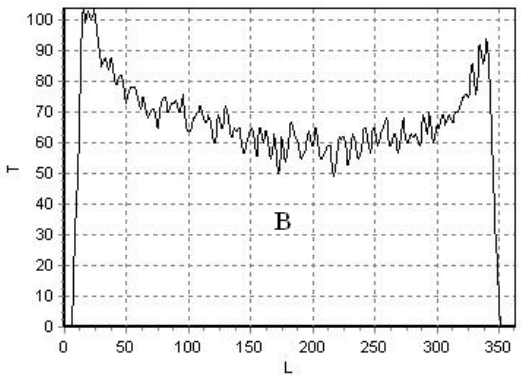


Рис. 3. Распределение интенсивности сигнала *T* вдоль линии 2 рис. 1

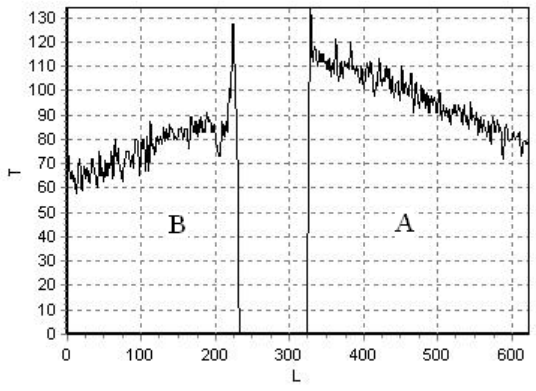


Рис. 4. Распределение интенсивности сигнала *T* вдоль линии 3 рис. 1

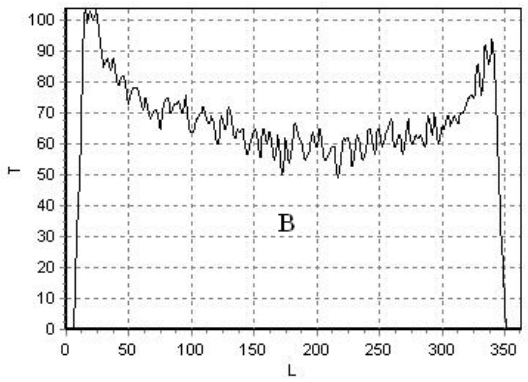


Рис. 5. Распределение интенсивности сигнала *T* вдоль линии 4 рис. 1

Список литературы

1. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Сергеев А.В., Темирбулатова А.Ш. Диагностические возможности магнитно-резонансной томографии при проведении электрофизиологических процедур. // Анналы аритмологии, 2011, № 1, С. 22 – 30.

2. Gellermann J., Wlodarczyk W., Feussner A., Fähling H., Nadobny J., Hildebrandt B., Felix R., Wust P. Methods and potentials of magnetic resonance imaging for monitoring radiofrequency hyperthermia in a hybrid system. // International Journal of Hyperthermia, 2005, V. 21, N. 6, P. 497–513.

3. Arthur R.M., Straube W.L., Trobaugh J.W., Moros E. G. Non-invasive estimation of hyperthermia temperatures with ultrasound. // International Journal of Hyperthermia, 2005, V. 21, N. 6, 589–600.

4. Straube T., Kahn T. Thermal therapies interventional MR imaging. Laser. // Neuroimaging Clin. N. Amer., 2001, V. 11, N. 4, P. 549–571.

5. Denis de Senneville B., Quesson B., Moonen C.T.W. Magnetic resonance temperature imaging. // International Journal of Hyperthermia, 2005, V. 21, N. 6, P. 515–531.

6. McDannold N. Quantitative MRI-based temperature mapping based on the proton resonant frequency shift: Review of validation studies. // International Journal of Hyperthermia, 2005, V. 21, N. 6. P. 533–546.

7. Gould P. Non-invasive thermometer checks tissue hot spots. // Nature International Weekly Journal of Science, 2008, 17 October, http://www.nature.com/news/2008/081017/full/news.2008.1178.html

8. Soher B.J., Wyatt C., Reeder S.B., Mackfall J.R. Noninvasive temperature mapping with MRI using chemical shift water-fat separation. // Magnetic Resonance in Medicine, 2010, V. 63, I. 5, P. 1238–1246.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Стромов Г.Г., Рыжков Д.В.
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: stromoff@gmail.com, ryzhkoff.d.v@gmail.com.

Проблемы автоматизации поиска областей интереса на трехмерных медицинских изображениях, например, полученных на основе компьютерной, магнито-резонансной, ультразвуковой томографии и т.п. заключаются как в больших объемах вычислений, так и в сложности используемых алгоритмов распознавания. Наряду с этими, чисто техническими проблемами, которые могут быть успешно преодолены увеличением вычислительных мощностей компьютеров, существуют проблемы анализа получаемых in vivo изображений методологического характера. К ним относятся получение и анализ изображения на фоне высокого уровня случайных помех, в условиях широкой внутри- и междуиндивидуальной вариабельности измеряемых характеристик у исследуемых биообъектов. В этих условиях качество решения диагностических задач на основе реконструкции и компьютерного анализа медицинских изображений существенным образом определяется не только возможностями формализации самого процесса обработки цифрового изображения, сколько поиском и определением методик и критериев, используемых для сравнения анализируемого изображения с набором референтных изображений, определяющих интересующий врача клинический диагноз. В работе [0] описаны общие подходы применения методики интегральной оценки состояния [0] в задаче автоматизированного поиска областей интереса в трехмерных медицинских изображениях. В качестве исходных данных используются модельные МРТ-изображения, предоставляемые ресурсом BrainWeb [0], строящиеся на базе двух фантомов: нормального и содержащего морфологический субстрат – проявление рассеянного склероза тяжелой степени. Анализ распределения интегральных оценок для групп, состоящих из нормальных и патологических изображений соответственно, показывает, что фрагментам, содержащим проявления патологии, соответствуют большие значения, что является основой для выделения областей интереса в исследуемых изображениях. В данной работе рассматривается поиск и обоснование критериев оптимального выделения областей интереса на трехмерных медицинских изображениях, а также методика реконструкции морфологического субстрата.

Интегральная оценка состояния проводится для матриц типа «объект-признак», строки в которых представляют объекты сравниваемых выборок, а столбцы – их атрибуты. Матрицы, идентичные или имеющие малые отличия по набору признаков, характеризуются величиной интегральной оценки, близкой к 0.5, имеющие значительные отличия – оценкой сильно выше 0.5. На полученную величину оценки влияет объем референтной выборки. Согласно [0,0], минимальный размер матрицы, представляющей данное состояние, должен составлять N+1×N, где N – количество признаков. В проводимых исследованиях выдерживалось соотношение между количеством признаков и объектов как 1:6.25 во избежание эффекта завышения значений интегральных оценок при недостаточных объемах выборок. Кроме того, в процессе расчета происходит статистическое моделирование референтной выборки, что также уменьшает коэффициент вариации и повышает точность и воспроизводимость результатов. Оцениваемое состояние представлено одним объектом. Исходные файлы представляют собой трехмерные матрицы размерностью 181×217 пискелов в поперечном разрезе и задаваемым шагом от 1 до 10 пикселов – в сагиттальном разрезе (181 пиксел – при максимальном разрешении). Изображения – монохромные, с глубиной цвета 8 или 12 битов с опционально накладываемым шумом. Патологический и нормальный фантомы соматотипически идентичны и отличаются только наличием морфологического субстрата в области мозолистого тела и затылочно-височной извилины. Патологические участки отчетливо видны при различных режимах сканирования, в настоящем исследовании мы остановились на T1-взвешенном режиме, в котором морфологический субстрат проявляется в виде гипоинтенсивных областей на изображении. Матрицы для расчетов формируются следующим образом (см. Рис. 1). Исходные файлы делятся на мелкие области равного размера (объемные или плоские блоки) с одинаковым смещением от начала координат для каждого, разворачиваемые в вектор значений яркостей пикселов, пронормированных на интервале 0÷1. Важно отметить, что способ разворота блока в вектор, т.е. порядок следования атрибутов, не влияет на величину интегральной оценки, принципиально только единообразие трансформации фрагментов во всех изображениях. Соответствующие вектора агрегируются в двумерные массивы, представляющие собой референтное или оцениваемое состояние в зависимости от типа фантома.

Расчеты проводились несколькими сериями, в каждой из которых фиксировался определенный уровень шума, накладываемый на фантомы при моделировании снимков: 3%, 5%, 7%, 10%, 11% и 15%. В этих сериях анализировалась зависимость распределения оценок от размера и формы блока, на которые разбиваются изображения.

Наши расчеты показали, что в зависимости от уровня помех есть несколько зон, или «окон», на которые можно условно разделить чувствительность распознавания различий в снимках:

1) зона высокой чувствительности: при уровне до 9% субстрат определяется при любом способе разбиения изображений и во всех срезах;

2) зона условной восприимчивости: при уровне шума от 10% до 14% области интереса определяются, но не на всех размерностях блоков, и/или могут выпадать на соседних срезах;

3) «глухая» зона: при 15% и выше – различимость к патологии на фоне помех исчезает.

Оптимальность выбора размеров партиционирования снимков определяется исходя из решаемой задачи. Если важно получить подробную информацию о свойствах изучаемой области, лучше выбрать малые размеры блоков. В этом случае гетерогенность изучаемого объекта, если таковая присутствует, обязательно проявится на термокарте в виде прилежащих сегментов с высокой, но различной, яркостью. Несколько увеличив размер блока, можно снизить количество артефактов, обусловленных помехами, в конечном изображении, сохранив при этом достаточную информативность. Высокая зашумленность анализируемых изображений (которую можно трактовать еще и как незначительно отличающуюся от окружающей среды анализируемую область) не позволяет получить детализированную информацию об объекте, и разбиение снимка на крупные фрагменты в такой ситуации делает возможным обнаружить наличие патологии.

Таким образом, общая тенденция, которая наблюдается во всех сериях расчетов: при увеличении размера блока повышается чувствительность методики, но информация о структурных особенностях области интереса снижается. Техника реконструкции субстрата применима только для изображений, попадающих в зону высокой чувствительности, поскольку только в этом случае можно получить непрерывное пространственное описание найденного объекта, и заключается в послойной сшивке битовых карт в единое трехмерное изображение.

Ссылки:

1. Стромов Г. Г., Фокин В. А., Евтушенко Г.С. Интегральная оценка трехмерных биомедицинских изображений с использованием технологии распределенных вычислений // Биотехносфера, 2012. – № 3-4. – С. 68-72.

2. Стромов Г.Г., Рыжков Д.В. Статистическое моделирование данных для интегральной оценки трехмерных изображений. // Сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», 9-12 апреля 2012, Томск. - Т.2. - С. 79-80.

3. Фокин В.А. / Технология интегральной оценки состояния биомедицинских систем / Системы управления и информационные технологии. 2008. №1.1 (31). С 191-194.

4. Электронный ресурс. URL: http://brainweb.bic.mni.mcgill.ca/brainweb/ (дата обращения: 28.09.2013).

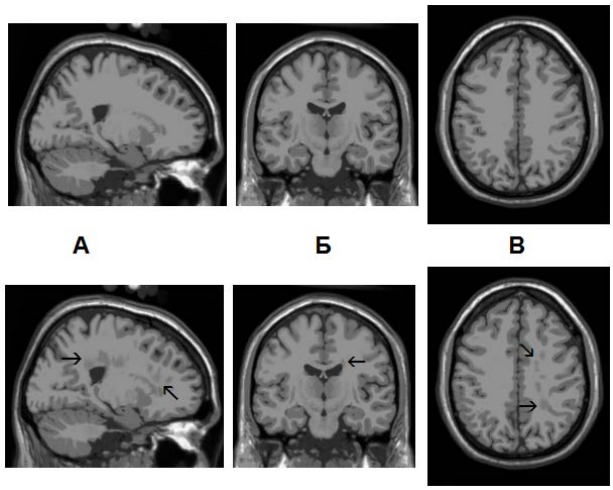


Рис. 1. Примеры анализируемых изображений: норма (сверху) и рассеянный склероз (снизу) в сагиттальном (А), фронтальном (Б) и аксиальном (В) срезах. Морфологический субстрат указан стрелками.

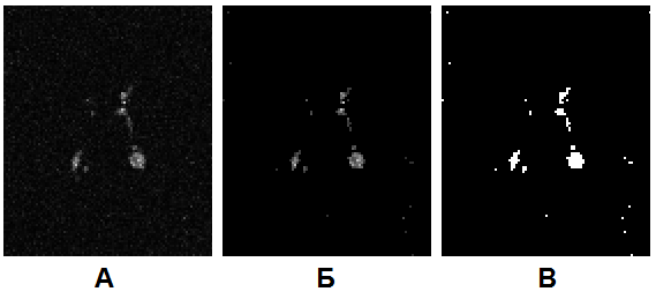


Рис. 2. Результаты расчета различий по блокам размерностью 2×2×2 при уровне шума в 3% между референтной группой, состоящей из 50 снимков на основе нормального фантома, и оцениваемой, представленной одним снимком с патологией: термокарта (А) распределения интегральных оценок; результат пороговой фильтрации этой же термокарты (Б); битовая карта (В).

РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ГОЛОВЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Тимченко К.А., Аристов А.А., Мусоров И.С.
Научный руководитель: А.А.Аристов, к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tina_tim7@mail.ru

При травматических повреждениях мозга крайне важно оперативно выявить наличие внутричерепных гематом. До сих пор основным методом выявления таких повреждений является томография, однако возможность проведения томографического обследования пациента сразу после травмы практически отсутствует. В связи с этим, задача создания прибора оперативно выявляющего наличие внутричерепных повреждений является актуальной. Решением данной проблемы может быть использование такого метода диагностики как ближняя инфракрасная спектроскопия, который мы попытались технически реализовать. После разработки варианта конструкции прибора, способного решать данную задачу, мы столкнулись с проблемой его экспериментальной апробации, которая направлена на определение алгоритма обработки сигналов с датчиков с целью получения информации об исследуемых гематомах. При исследовании важно получить информацию не только о наличии или отсутствии гематомы, но и определить ее параметры: локализацию, размеры, глубину залегания. Для проведения подобных исследований необходимо иметь соответствующие объекты – в идеале пациентов, имеющих повреждения с известными (по данным ЯМР томографии) характеристиками гематом. Однако проведение испытаний непосредственно на человеке не могут быть разрешены комитетом этики, без предварительных опытов на животных или моделях физически близких к реальным объектам, на которые направлено исследование. Решить эту проблему представляется возможным с использованием искусственных образцов биотканей (фантомов) с близкими к реальным объектам свойствами.

Биоткань – это оптически неоднородная среда. При прохождении через неё излучения нужно учитывать множество оптических факторов. Наиболее значимыми для процессов моделирования являются коэффициенты поглощения и рассеяния, используемых в моделях материалов, соответствующие реальным характеристикам биологических тканей.

Показатели поглощенного, рассеянного и прошедшего излучения несут информацию о формирующих образец биоткани факторах, особенностях ее анатомического и морфологического строения. Для того чтобы иметь возможность извлечь эту информацию, и интерпретировать результаты экспериментов по рассеянию, поглощению и прохождению излучения через биоткань, необходимо построить адекватную оптическую модель соответствующей ткани с известными характеристиками, и на ее основе решить задачу распространения излучения в данной среде.

При конструировании фантомов важно чтобы оптические параметры материалов и компонентов, входящих в состав системы, формирующей фантом, были предсказуемыми. Физические параметры компонентов и материалов должны быть устойчивы во времени. Это касается не только оптических параметров, но механической стабильности (испарения растворителей, старения полимеров, деградации компонентов бактериями).

Когда задача заключается в моделировании ткани со сложной архитектурой или целого органа в изготавливаемом фантоме должна быть воспроизведена геометрия природного объекта. Также должны быть учтены показатели преломления слоев, так как несоответствия на границах могут влиять на распространение света в тканях. Значения показателей преломления между тканями также играет важную роль.

Для моделирования оптических свойств ткани, как уже говорилось ранее, необходимо учитывать коэффициенты рассеяния и поглощения. Их воспроизведение достигается путем смешивания, в соответствующих пропорциях, рассеивающих и поглощающих компонентов. Для моделирования коэффициента поглощения используют красители.

К материалу, составляющему основу фантома, предъявляются следующие требования: он должен быть нерассеивающим и непоглощающим, и его показатель преломления должен быть максимально близким к значению показателя преломления реальной ткани.

При принятии решения о составе определенного фантома, вопрос о компонентной совместимости должен быть принят во внимание. Это важно, поскольку некоторые обычно используемые рассеиватели, например, полистирольные микросферы, могут растворяться в органических растворителях.

По механическим свойствам фантомы можно разделить на два класса, жидкие и твердые. В жидких фантомах рассеиватели и поглотители смешаны в определенных пропорциях в разбавителе. Такой фантом довольно легко приготовить, однако он не позволяет сделать образец реального строения биоткани [3].

В твердых фантомах основной материал служит механической основой. Типичные материалы-основы: полимеры и водные гели. Способность этих материалов, держать нужную форму дает возможность изготовления геометрически сложных неоднородных фантомов. Что позволяет имитировать целые органы. Для этого используются плиты, выполненные из материалов близких по оптическим свойствам к реальным тканям. Плиты определенным образом режутся и укладываются для воссоздания необходимого нам органа, также могут использоваться определенные типы литья последних. Одним из преимуществ твердых сред является почти идеальное соответствие показателя преломления на границах. Кроме того, агрегация и осаждение рассеивающих частиц в твердом фантоме отсутствует, что является большим плюсом в сравнении с жидким, где эта проблема достаточно актуальна [3].

В зарубежной литературе был найден ряд вариантов изготовления фантомов головы человека для проведения экспериментальных исследований по восстановлению изображения ее структуры на основе оптической томографии.

Отделом медицинской физики и биоинженерии Лондонского университета была разработана следующая схема моделирования фантома. Голова выполнялась из белого термопластика или вулканизированного латекса с приданием ей эталонной формы. Форма заполнялась рассеивающей жидкостью (10% Intralipid TM, водорастворимый NIR краситель и дистиллированная вода) с общими оптическими свойствами коэффициент рассеяния порядка $1\ mm^{-1}$ и коэффициент поглощения порядка $0.01\ mm^{-1}$. Эти значения выбирались в диапазоне свойств серого и белого веществ мозговой ткани [2,4].

Группой ученых, в числе которых были Adam P. Gibson, Jeremy C. Hebden, Jason Riley разработан альтернативный метод создания фантома головы относительно рассмотренного выше. Тканеэквивалентый оптический фантом цилиндрической формы диаметра 70 мм и высоты 140 мм строится из эпоксидной смолы с полым центром 60 мм в диаметре. Оптические свойства смолы корректируются добавлением диоксида титана, который обеспечивает рассеивание эквивалентное рассеянию биотканей и поглощающим красителем NIR для ближней инфракрасной области излучения. Полый центр фантома наполняется жидкой эпоксидной смолой (т.е. без отвердителя) с идентичными оптическим свойствам, что и у твердой оболочки фантома [1].

Таким образом опираясь на общий теоритический материал и технологию изготовления фантомов, взятую из зарубежных источников, планируется воссоздать подобный фантом, который будет использоваться для проведения опытов по изучению прохождения излучения красной и инфракрасной длин волн через голову человека. Однако, выше описанные методики эмитируют только мягкие ткани, нам же, помимо этого, необходимым смоделировать костную ткань и, собственно, саму гематому. В связи с этим перед нами встает задача найти материалы, которые смогли бы удовлитворить оптическим характеристикам последних. Её решение планируется проводить опытным методом, путем просвечивания возможных образцов-фантомов собранным нами прибором, и сравнения полученных показателей с показателями реальных объектов.

Список литературы:

1. Adam P. Gibson, Jeremy C. Hebden, Jason Riley, Nicholas Everdell. Linear and nonlinear reconstruction for optical tomography of phantoms with nonscattering regions. //Applied optics – 2005. - Vol. 44. – P. 3-9.
2. Andersen P.H., Bjerring P. Spectral reflectance of human skin in vivo //Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. - 1990. - Vol. 7. - P. 5-12.
3. Anderson R.R., Parrish J.A. Optical properties of human skin // The SciencePhotomedicine / Eds. J.D. Rogan, J.A. Parrish. - 1982. - P. 147-194.
4. Gilberto Branco. Thesis submitted for the degree of doctor of philosophy (PH.D.) at the university of London// The development and evaluation of head probes for optical imaging of the infant head. – 2007. – P. 83-87.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕНСОРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НАНОБИОИНТЕРФЕСА ДЛЯ МИОТОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ

Турушев Н.В., Григорьев М.Г., Авдеева Д.К.
Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nvtur90@mail.ru

Одной из существующих и насущной проблемой человечества является поддержание хорошего уровня здоровья и дееспособности организма. Именно здоровье организма и правильное функционирование всех его систем, в первую очередь, влияет на качество жизни и благополучие человека, как душевное, так и материальное. По этой причине, первоочередной задачей во многих странах является решение проблем здравоохранения и разработка новых методов лечения и диагностирования существующих заболеваний и патологий.

По докладам Министерства Труда и Социальной защиты Российской Федерации на апрель 2013 года количество инвалидов в стране превысило отметку в 12,8 миллионов человек, что составляет 9,2 % всего населения России. Из них 1,75 миллионов являются людьми трудоспособного возраста. Но занимаются трудовой деятельностью только 0,508 миллионов человек, то есть около 31,9%. Для сравнения уровень занятого населения России от численности трудоспособного населения составляет 75% [1].

Кроме этого люди различных степеней инвалидности испытывают большие трудности при социализации из-за отклонений, как в раннем детстве, так и в зрелом возрасте, что сильно понижает их качество жизни и наносит большое количество психологических травм.

Именно повышение качества жизни таких людей и более простая интеграция их в общество является одной из проблем, которую решает государство и весь мир в целом.

Одним из способов решения проблемы социализации и увеличения качества жизни людей, восстановление их способностей является создание протезов, частично или полностью восстанавливающих функции, нарушенные у инвалидов и мешающие их нормальному существованию.

Решением этой проблемы стала разработка протезов, заменяющих отсутствующие органы человеку. Протезы позволяют человеку с инвалидностью уменьшить акцент на присутствующую у него патологию, уменьшить неудобства, которые он от неё испытывает, и помочь в адаптации во внешнем мире.

Некоторые учёные классифицируют разработанные на данный момент протезы на две группы: косметические и функциональные. [2]

Особенность косметических протезов заключается в том, что они несут минимальное восстановление функций отсутствующих органов человека и, в основном, направлены на маскировку недостатка правдоподобной моделью, в максимальном приближении повторяющей визуальные параметры.

Косметические протезы являются самым древним видом протеза, в истории известны случаи замены конечностей и частей лица ещё со времен древних шумеров и египетских фараонов. Как правило, данный вид протезов используется для обеспечения косметического эффекта для повреждённых органов опорно-двигательного аппарата и участков лица.

Производством подобных протезов занимаются практически во всех странах мира. В Российской федерации производством косметических протезов занимается более 70 протезно-ортопедических мероприятий, связанных со своим регионом для обеспечения продукцией жителей, нуждающейся в ней. Например, в Томской области производством протезов занимается ФГУП «Томское протезно-ортопедическое предприятие», производящее протезы разнообразного назначения.

Функциональные протезы, называемые так же миотоническими, отличаются от косметических тем, что, прежде всего, направлены на восстановление функций потерянной части тела, либо органа. Такие протезы могут обладать косметическим эффектом (полный протез кисти, голени) или направлены только на восстановление функций.

На мировом рынке миотонические протезы представляют такие компании-производители, как Otto Bock (Германия), Thalmic Labs (США), Ossur (Ирландия), Dynastream Innovations (Канада), Touch Bionics (США). Данные разработчики приобрели большую известность не только за рубежом, но и в России. Например, продукция компании Otto Bock хорошо представлена в ФГУП «Томское ПрОП». [2]

Объём рынка протезов в мире по версии Market News составляет 16 млрд. долларов, а стоимость протезов варьируется от 2 000 до 300 000 долларов.

В России объём представляет около 3 млрд. рублей, а стоимость варьируется от 30 000 до 2 000 000 рублей. [2]

Миотонические протезы управляются при помощи биоинтерфейса, который использует в качестве информативного параметра электрофизиологические биосигналы человека.

Учёные различают несколько видов биоинтерфейсов: электромиографические, нейрологические, нейрокомпьютерные интерфейсы.

Нейрокомпьютерные биоинтерфейсы используют в качестве информативного параметра био-

сигналы, поступающие из подкорки головного мозга. При этом снимающие отведения вживляются в участок коры головного мозга. Получаемые данные обрабатываются и преобразуются в управляющие сигналы, подаваемые на механику протеза.

Наибольшую пользу данный вид интерфейсов имеет для людей, страдающих от паралича конечностей, обусловленного нарушением нейронных связей между мозгом и управляемым органом.

Данный вид интерфейсов обладает преимуществами, такими как возможность управлять протезом, заменяющим полную конечность или парализованную область тела. Но и имеет большой недостаток – инвазивность, что создаёт большой риск повреждения или заражения мозга при установке протеза.

Нейрологический интерфейс использует в качестве информативного параметра сигналы, проходящие через активируемые нервы человека.

Отведения такого интерфейса могут быть, как вживлёнными в нервную ткань, так и установленные над нервами, не внедряясь в живые ткани. Существует подвид вживления интерфейса в позвоночный столб, в аксоны больших рогов. Главным риском при использовании данного вида биоинтерфейсов является возможность разрушения или травмирования нерва и окружающих его тканей.

Электромиографический биоинтерфейс основан на биосигналах, получаемых с мышечной ткани. Как правило, отведения подобных биоинтерфейсов располагаются над мышцей, но существует практика внедрения электродов в мышечные пучки, в результате чего возможно возникновение определённых рисков травмирования здоровой части тела. Использование данного вида биоинтерфейсов в протезировании ограничено площадью информативной поверхности остаточных отделов мышцы, принимающих участие в дееспособной или отсутствующей конечности.

Проводимые на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля НИ ТПУ исследования позволили добиться новых результатов в улучшении характеристик биоинтерфейсов, работающих на принципе регистрации электрофизиологических сигналов человека.

Открытия, произведённые во время исследования, позволили разработать новый класс наносенсоров, не имеющих аналогов во всём мире. Отличительными особенностями разработанных наносенсоров являются высокая помехоустойчивость, долгий срок эксплуатации, высокая чувствительность, биосовместимость. [3]

Разрабатываемые наносенсоры позволяют создать на их основе высокочувствительные, быстродействующие, безопасные измерительные комплексы, которые могут предоставить возможность по-новому исследовать организм человека.

Используемая технология, планируется для внедрения в электромиографические нанобиоинтерфейсы, которые позволят создать протезы, обладающие более высокой скоростью отклика по сравнению с существующими аналогами благодаря отсутствию инерционных звеньев, высокой чувствительностью, удобством эксплуатации и установки благодаря неинвазивности наносенсоров, а так же большим сроком службы.

Разрабатываемый экспериментальный макет нанобиоинтерфейса будет состоять из наносенсоров, блока усиления биосигналов, блока обработки биосигналов.

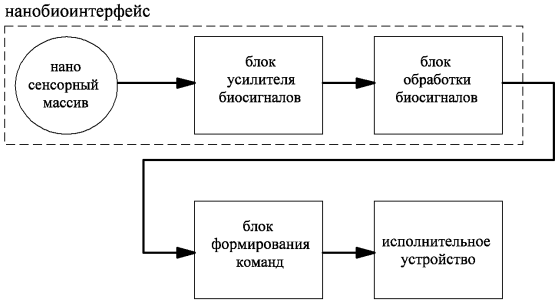


Рисунок 1. Структурная схема нанобиоинтерфейса в составе простейшего миотонического протеза

С наносенсоров информация поступает на усилитель биосигналов и передается в блок обработки сигналов, преобразующий усиленные биопотенциалы в цифровой код, удобный для обработки в блоке формирования команд, который обычно содержится в любом миотоническом протезе и служит для управления электромеханической его частью (рисунок 1).

На данный момент проводятся исследования, направленные на разработку оптимальной формы наносенсора, анатомически совместимой с конечностями человека.

По проведённым исследованиям будет разработан экспериментальный макет наносенсора, внедрённый позднее в нанобиоинтерфейс.

Список литературы:

1. О реализации мер, направленных на развитие трудовой занятости инвалидов// Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. [Официальный сайт] URL:http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/migration/12 (дата обращения: 10.02.2014);

2. Max Ortiz-Catalan, Rickard Branemark, Bo Hakansson, Jean Delbeke. On the viability of implantable electrodes for natural control of artificial limbs: Review and discussion. BioMedical Engineering OnLine, 2012, 11:33. doi:10.1186/1475-925X-11-33;

3. Турушев Н. В. , Кашуба И. В. , Южаков М. М. Электронейромиограф // Современные техника и технологии : сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 417-418

НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ КАРДИОЛОГИИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Ходыревская Ю.И.[1, 2]
Научные руководители: Твердохлебов С.И.[1], к.ф.-м.н.; Кудрявцева Ю.А.[2], д.б.н.
[1] Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,
[2] Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний СО РАМН, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 6
E-mail: aiger2350@yandex.ru

Использование полимеров в медицинской практике является мировым трендом. В настоящее время из полимеров изготавливается более трех тысяч различных видов медицинских изделий. Успехи в этой области определяются сотрудничеством физиков, химиков, медиков. Химическая промышленность выпускает различные полимерные материалы, но специальных полимеров для применения в медицине пока еще недостаточно. Полимеры и имплантируемые изделия медицинского назначения должны обладать определенными физико-химическими свойствами, не оказывать вредного действия на организм человека и сохранять свои свойства при постоянном разрушительном воздействии ферментативных систем живого организма [1].

В современной реконструктивной хирургии сердца и сосудов широко используются имплантаты из полимеров, которые помимо биологической инертности, должны иметь высокую механическую прочность, определенную структуру, а главное – не вызывать образования тромбов на своей поверхности при контакте с кровью. Сосудистых протезов, удовлетворяющих всем перечисленным свойствам, в настоящее время нет.

Развитие методов изготовления кровеносных сосудов и модификации их поверхности позволит перейти к решению важнейших задач теоретической и практической медицины. Перспективным методом изготовления кровеносных сосудов является электроспиннинг [2].

Таким образом, целью настоящего исследования являлось получение методом электроспиннинга нетканых материалов на основе биодеградируемых полимеров для применения в кардиологии и изучение их физико-механических свойств. Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выбор полимеров для изготовления сосудов малого диаметра.
2. Подбор технологических параметров формования нетканых матриксов на основе биодеградируемых полимеров и их сополимеров, и получение опытных образцов.
3. Исследование физико-механических характеристик (относительное удлинение, модуль Юнга, механическая прочность на разрыв) изготовленных образцов в зависимости от выбранных технологических параметров.
4. Модификация поверхности полученных образцов с целью изменения их гидрофильных свойств.

В качестве медицинских биополимеров различного назначения широко используются биодеградируемые полимерные материалы с высокой биосовместимостью, которые выполняют временную функцию и разлагаются в организме. Это делает их предпочтительным, а в отдельных случаях незаменимым материалом.

Наибольшее применение в медицине нашли полилактид (PLA), поли-β-гидроксибутират-валерат (PGBV), поликапролактон (PCL) и их сополимеры. Данные полимеры и были выбраны для выполнения задач настоящего исследования.

Для создания полимерных растворов на основе биодеградируемого полимера PGBV и его сополимеров (PGBV-PCL и PGBV-PLA), эти материалы смешивали в растворителе $CHCl_3$ с помощью магнитной мешалки IKA C-MAG HS 7 в выбранных процентных соотношениях (6, 8, 10 % полимеров в общей массе раствора) до полного их растворения.

Сосудистые протезы изготавливали методом электроспиннинга на установке Mecc Nanon при следующих параметрах: расстояние между коллектором и капилляром 15 см; напряжение на игле +22 кВ; скорость потока раствора 0,5 мл/ч; время изготовления 4 часа.

Было изучено влияние концентрации полимера PGBV с молекулярной массой 900 кДа в растворе на конечные свойства получаемых образцов. Результаты представлены в таблице 1. Исследование механических свойств проводили в условиях продольного растяжения однотипно изготовленных образцов с помощью универсальной испытательной машины Zwick/Roell Z 2.5. По результатам испытаний рассчитывались предел прочности, относительное удлинение и модуль Юнга материалов.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что с увеличением концентрации полимера в растворе механические характеристики полученных образцов протезов значительно уменьшаются (в 1,5-2 раза).

Таблица 1. Физико-механические свойства протезов на основе полимера PGBV-900

Полимерная композиция	Прочность, МПа	Относит. удлинение, %	Модуль Юнга Н/мм^2
6 % полимера в общей массе раствора			
PGBV	4,31	200,3	90,8
PGBV+PLA	3,84	155,2	79,5
PGBV+PCL	4,46	283,6	67,4
8 % полимера в общей массе раствора			
PGBV	1,41	121,3	21,6
PGBV+PLA	2,69	116,2	57,1
PGBV+PCL	1,13	181,1	9,98
10 % полимера в общей массе раствора			
PGBV	1,62	245,7	10,3
PGBV+PLA	2,65	134,8	54,9
PGBV+PCL	1,99	248,1	14,0

При уменьшении концентрации полимера в растворе до 4 % наблюдалось уменьшение толщины стенки сосуда, снять протез с коллектора без его разрушения не получалось. Таким образом, оптимальная концентрация полимера в общей массе раствора составляет 6 %.

Отработка режимов модификации для дальнейшего исследования на подготовленных экспериментальных материалах проводилась на пленочных образцах из полимолочной кислоты PL-38 (PURAC) с молекулярной массой 38 кДа, полученных методом налива. Плазмохимическая обработка образцов проводилась на электродной системе с предыонизатором (разработка лаборатории №1 ИФВТ ТПУ, руководитель проф. Г.Е. Ремнев). Использовались два режима работы генератора установки: менялась энергия в импульсе при заданной частоте следования, а также время обработки материала. Для режима 1 частота следования импульсов составляла 350 Гц, а энергия – 0,1 Дж; при режиме 2 энергия в импульсе составляла 0,4 Дж при частоте следования 1000 Гц; напряжение на электродах составляло 20 кВ, а длительность импульса – 100 нс для обоих режимов [3].

Эксперименты по определению угла смачивания и свободной энергии поверхности проводили с помощью прибора для измерения краевого угла DSA20 (EasyDrop). На каждый образец наносилось по три капли воды и три капли глицерина объемом 3 мкл. Данные о краевых углах смачивания одного образца несколькими жидкостями позволяют определить свободную энергию поверхности (СЭП) твердого образца.

Средние значения краевых углов и СЭП исследуемых образцов полимолочной кислоты PL-38, подвергающихся плазмохимической обработке, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Краевой угол смачивания и свободная энергия поверхности (СЭП) образцов PL-38 с различным временем обработки ($t_{об}$).

$t_{об}$, с.	Краевой угол смачивания, °		СЭП, мДж/м^2	
	вода	глицерин	дисперсная	поляризационная
Не модифицированные образцы				
0	46,4±3,4	81,4±5,0	8,20±1,21	109,9±3,3
Режим 1				
2	79,9±4,1	62,5±6,5	11,2±2,0	25,6±2,7
15	65,0±8,1	70,1±4,7	3,7±0,9	35,9±2,9
30	74,1±19,5	66,8±9,3	15,9±4,4	15,1±4,3
50	61,3±4,9	60,2±10,3	10,1±2,6	29,9±3,2
120	58,0±2,7	62,8±0,6	5,07±0,28	40,0±0,9
Режим 2				
30	51,9±8,2	61,2±10,1	2,9±1,50	50,7±4,7
60	80,0±8,7	87,1±4,2	28,9±2,6	0,9±0,50
120	51,7±6,6	58,2±5,8	46,6±3,1	4,80±1,18

Динамика изменения краевых углов смачивания показывает, что гидрофильность полимера при времени обработки порядка 2-5 секунд для энергии импульса, равной 0,1 Дж, и 50-60 секунд при энергии импульса 0,4 Дж, значительно снижается. При увеличении времени воздействия атмосферного газового разряда на образец наблюдается постепенное восстановление гидрофильных свойств поверхности полимера. Анализ изменения свободной энергии поверхности показывает, что в начальный момент времени происходит значительное уменьшение свободной энергии поверхности, при увеличении времени обработки полимера в плазме происходит повышение свободной энергии поверхности, однако она остается ниже значения СЭП для не модифицированных образцов.

Литература

1. Воложин, Г.А. Основные виды биосовместимых материалов. М: МГМСУ, 2010. – стр. 17.

2. Матвеев А.Т., Афанасов И.М. Получение нановолокон методом электроформования. Москва 2010. – стр. 83.

3. Гильман А.Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов. Школа по плазмохимии для молодых ученых России и стран СНГ: Copyright © 1999.

ELECTROSPINNING AND SOLUTION BLOW SPINNING PRODUCTIONS METHODS OF POLYMER SCAFFOLDS FOR TISSUE ENGINEERING

Volokitina T.L., Bolbasov E.N.
Scientific advisor: Tverdokhlebov S.I., Ph.D., asst. professor;
Linguistic advisor: Troitsky O.Yu., Dr., professor;
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin av., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: tatyanavolokitina@gmail.com

Modern medical technologies are aimed to solve problems related to improving the quality and the human's life span. It is required to control structural and functional state of regenerating cells deliberately in order to provide successful recovery of living functions and rehabilitation of patients especially in such cases as oncological and cardiac diseases, disorders in the musculoskeletal system, in stomatology. Three-dimensional non-woven scaffolds used for such purposes due to their architectonics are capable of controlling the functional state of cells and manage the recovery processes of living tissues. Polymer materials used to produce scaffolds should have certain physical, mechanical, chemical and biological properties. Depending on properties of raw polymer materials scaffolds may be either - biodegradable or biostable which define their field of application. Therefore, the enhancement of non-woven scaffold forming methods for regenerative medicine is a vital problem.

There are several methods of forming polymer non-woven scaffolds including an electrospinning and solution blow spinning. The electrospinning is a method of forming thin fibers with diameter varying from nanometers to micrometers and materials with high specific surface area with the help of electrostatic powers [1]. A schematic circuit of the electrospinning consists of syringe pump, high-voltage supply and collector (fig. 1). The scaffolds obtained with the electrospinning can be characterized with homogeneous diameter distribution of fibers, high mechanical properties and high biocompatibility.

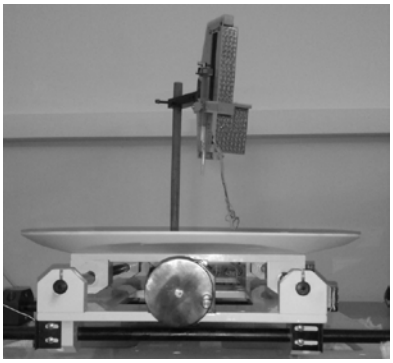


Fig. 1. A schematic circuit of the electrospinning

The solution blow spinning is a method of forming polymer non-woven materials out of solutions and melts of polymer (fig. 2). Heated/compressed air or gas of a high speed is used for extension of fibers [2]. This method is unique because of capability to produce microfibers (diameter is about micron) which size is several orders smaller than the size of materials formed by any other method.

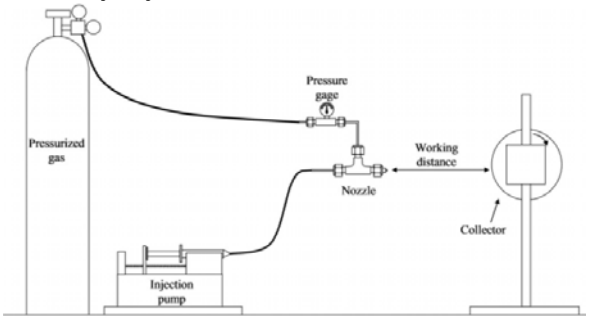


Fig. 2. A schematic circuit of the solution blow spinning [2]

The non-woven materials with required morphology and fiber diameter can be formed by varying technological parameters [1-3]. The morphology of polymer non-woven scaffolds defines the field of applications, therefore its analysis is of the top-priority.

Scaffolds were formed from solution of copolymer tetrafluoroethylene with vinylidene fluoride (TFE/VDF) in dissolvent of low toxicity – acetone. Parameters of process of non-woven materials forming by the electrospinning are as follows: the solution consumption 2 µl/min, the nozzle diameter for supplying the solution 0.1 mm, the distance between the nozzle and the collector 15 cm, voltage between the collector and the needle 16 kV. Forming parameters for the solution blow spinning are as follows: the solution consumption 25 µl/min, the pressure of compressed air 3.5 bar, the nozzle diameter for supplying the polymer solution 0.35 mm, the nozzle diameter for supplying the compressed air 0.53 mm, the distance between the nozzle and the collector 40 cm.

The surface morphology analysis of non-woven polymer scaffolds was carried out by a method of the scanning electron microscopy (SEM) on Quanta 400 FEG without deposition of conductive coatings at low vacuum regime in water steam atmosphere (the residual pressure in the camera is 60 Pa, the accelerating voltage is about 20 kV, the current of the beam is 5 µA).

The scaffolds surface morphology formed from the solution of copolymer TFE/VDF by the electrospinning is in figure 3.

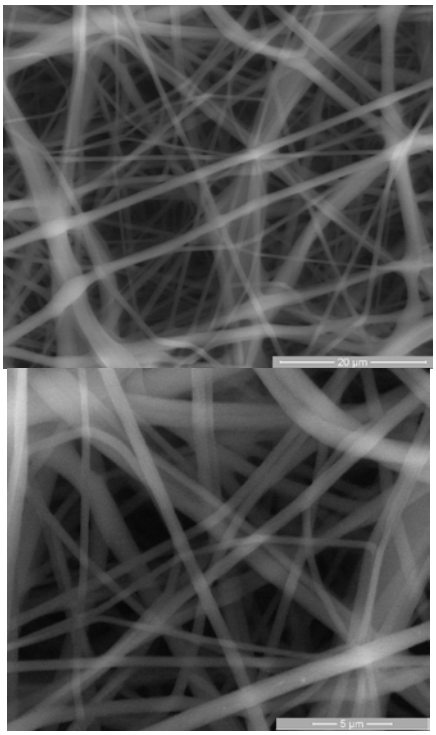


Fig. 3. The surface morphology of TFE/VDF scaffolds formed by the electrospinning

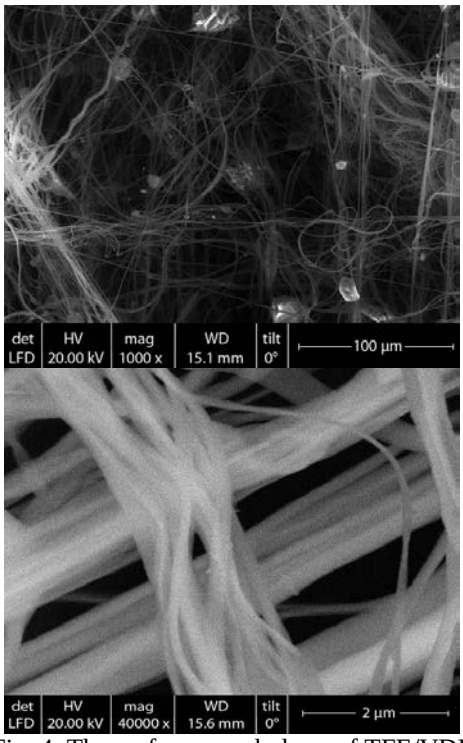


Fig. 4. The surface morphology of TFE/VDF scaffolds formed by the solution blow spinning

The obtained results (fig. 3) correlate with optic microscopy data (Motic) and demonstrate that non-woven materials, formed by the electrospinning consist of rough, single nanofibers which are compact and strongly tangled. The average porosity of the electrospinned scaffolds, which was calculated according to the data of optical microscopy with the help of Image J 1.38 software, was about 45 %. The average pore size is about 3 µm. The thickness of the fibrous material at chosen forming parameters after 5 minutes from the process beginning was about 38 µm.

The surface morphology of scaffolds formed from the solution of copolymer tetrafluoroethylene with vinylidene fluoride by the solution blow spinning is in figure 4. The analysis of the scaffolds morphology formed by the solution blow spinning showed that the scaffolds had a complicated spatial ordering with more easy packed bundles of aligned microfibers in their structure, which contain 10 up to 100 nanofibers per bundle. Average pore sizes of the scaffolds formed by the solution blow spinning varied from 8 to 17 µm. The average thickness of the non-woven material after 5 minutes from the process beginning was about 290 µm and the porosity was about 65%.

The comparative appraisal of the non-woven polymer scaffolds formation variants shows that the scaffolds obtained by the solution blow spinning have more complicated spatial ordering with enough porosity and high formation speed. The electrospinning method allows to obtain sub-micron fibers with different orientation, high surface area and regulated porosity. These parameters are favorable for elaborate cells growth *in vitro* and *in vivo* because they directly influence the cells adhesion, cells expression, oxygen and nutrients delivery to cells.

The definite application field in tissue engineering is typical for each method of non-woven materials formation depending on used raw materials. Thus, different polymer nanofibers are used as scaffolds for cartilages, cutaneous tissue, bones etc. The electrospinned fibers are widely used, for instance, as arterial blood vessel, scaffolds for heart and nerves. The scaffolds obtained by the solution blow spinning find a special application for producing parenchymatous organs. However, the most optimal and most perspective variant is combining methods in order to get the required properties of scaffolds and to create hybrid materials.

References

1. Pham Q.P., Sharma U., Mikos A.G. Electrospinning of polymeric nanofibers for tissue engineering applications: a review // Tissue Engineering. – 2006. – V. 12. – N. 5. – P. 1197-1211.

2. Medeiros E.S., Glenn G.M., Klamczynski A.P., Orts W.J., Mattoso L.H.C. Solution blow spinning: a new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions // Journal of Applied Polymer Science. – 2009. – V. 113. – N. 4. – P. 2322-2330.

3. Oliveira J.E., Mattoso L.H.C., Orts W.J., Medeiros E.S. Structural and morphological characterization of micro and nanofibers produced by electrospinning and solution blow spinning: a comparative study // Advances in Materials Science and Engineering. – 2013. – P. 1-14.

SURFACE PROPERTIES CHANGING OF BIODEGRADABLE POLYMERS BY THE RADIO FREQUENCY MAGNETRON SPUTTERING MODIFICATION

Malchikhina A.I.
Scientific adviser: Tverdokhlebov S.I., Ph.D., asst. professor
Linguistic advisor: Troitsky O.Yu., prof., Dr.
National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Av., 634050, Tomsk, Russia
E-mail: alyonamalchikhina@gmail.com

Now biodegradable polymers, such as polylactic acid (PLLA) and polycaprolactone (PCL) are promising materials used in reconstructive surgery. These polymers are considered to be biologically safe and approved for clinical use by the US Food and Drug Administration [1]. All over the world biodegradable products for reconstructive medicine (screws, plates, pins and meshes) are becoming increasingly popular since they are gradually completely replaced by the patient's own tissues and excreted from the body with metabolic products. Biomaterial surface properties, such as wettability, surface free energy, play a decisive role for cells attachment and growth. The disadvantage of biodegradable polymers, limiting their use in reconstructive medicine, is their hydrophobicity. To make polymers hydrophilic surface they are often treated in gas discharge plasma. The method of radio frequency magnetron sputtering (RFMS) target of hydroxyapatite is one of the perspective methods for polymer surface treatment. RFMS method allows not only to increase the surface free energy, but also to create active centers such as compounds of calcium and phosphorus for cells growth and attachment into osteogenic direction. The paper purpose was to study the surface properties (wettability and surface free energy) of biodegradable polymers modified by RFMS.

Materials and methods

The effect of radio frequency discharge plasma was investigated on polymer films, obtained from 4% polymer material solution in dichloromethane (Panreac). Biodegradable polymers of Poli (L-lactide) PURASORB® PL 65 (Purac) and Policaprolactone PURASORB® PC 12 (Purac) were used. In order to prepare films, 12±1 grams of polymer solution were placed in specially prepared glass polished bottom basin. The basin was filled with distilled water for separating the formed film from the basin 24 hours after solvent removal and film formation. Then obtained film was placed in thermostat at 35 °C for 24 hours to remove residual moisture.

The polymer surface was modified with RFMS of hydroxyapatite solid target. The RFMS method is based on the sputtering of material in vacuum due to the target surface bombardment with the ionized working gas (usually argon) which is formed in the radio frequency discharge plasma when a magnetic field is applied. The equipment that allows forming thin calcium-phosphate coatings on different materials (metals, ceramics, and polymers) was developed in Tomsk Polytechnic University [2]. Radio frequency (RF) magnetron source supplied by RF generator with a maximum power of 2 kW and operating frequency of 13.56 MHz was placed in the vacuum chamber of the equipment. We used the following technological conditions: vacuum in the chamber was 5×10^{-5} Pa, working pressure of Ar 3×10^{-1} Pa, specific RF power of about 5 W/cm^2, RF power of 350 W and modification time of 30 sec, 1 min and 2.5 min.

Wettability of the modified polymer coatings was studied with the “Easy Drop” device (Krüss) with method of “sit” drop by measuring the contact angle of a liquid drop with volume of 3 ml placed onto the investigated surface. Measurements of the wetting boundary angle (the contact angle) were carried out one minute after placing the liquid on the surface. In order to avoid contamination of the surface and distortion of measurement results, measurements of the contact angle were carried out immediately after surface modification. Glycerin and water were used as the wetting liquids. The total surface energy, its polar and dispersion components were calculated with the Owens–Wendt–Rabel–Kaelble (OWRK) method [3].

Results and discussion

Tables 1 and 2 show investigated wetting angle and free surface energy values.

Table 1. Water and glycerol wetting angles of evaluated samples

Modification time, seconds	Wetting angle of water θ, degrees	Wetting angle of glycerol θ, degrees
PLLA		
0	87±12	84±6
30	46.1±0.7	45±5
60	33.6±1.8	42.2±1.8
150	41±3	56±13
PCL		
0	77±5	85±3
30	31.6±0.5	69±3
60	2±2	53.5±1.3
150	34.8±0.6	40±6

Plasma effects lead to the wetting angle reduction of the polymer material as by a polar (water) and a nonpolar (glycerol) liquid. However, more prolonged plasma exposure on the polymer leads to the wetting angle increasing (Fig. 1, 2). This possibly can be explained by the polymer structure destruction in the RF discharge plasma.

Free surface energy of polymer films increases (Table 2, Fig. 3, 4). The polar component makes the main contribution to the free surface energy. The polar component significantly increases due to the

appearance on the polymer surface a large number of chemically active centers, such as the radicals formation, double bonds and cross-links, surface saturation by heavier ions – Ca and P. The reason for chemically active centers formation may be surface bombardment with argon ions and the polymer interaction with sputtering target atoms and ions. The polymer interaction with oxygen ions contained in the target material leads to the formation in polymer surface of C-O and O-C =O group.

Table 2. Free surface energy of the evaluated samples

Modification time, seconds	Free surface energy γ, mj/m^2	Dispersion component γ^d, mj/m^2	Polar component γ^p, mj/m^2
PLLA			
0	20±4	8.2±1.9	12±2
30	53±3	12.5±1.4	40.0±1.7
60	65.1±1.4	6.9±0.4	58.1±0.9
150	67±7	1.8±1.4	65±6
PCL			
0	33±2	0.8±0.3	32.1±1.7
30	119±2	4.0±0.4	115.4±1.5
60	113.2±1.5	0.43±0.09	112.8±1.4
150	63±3	9.2±1.3	53±2

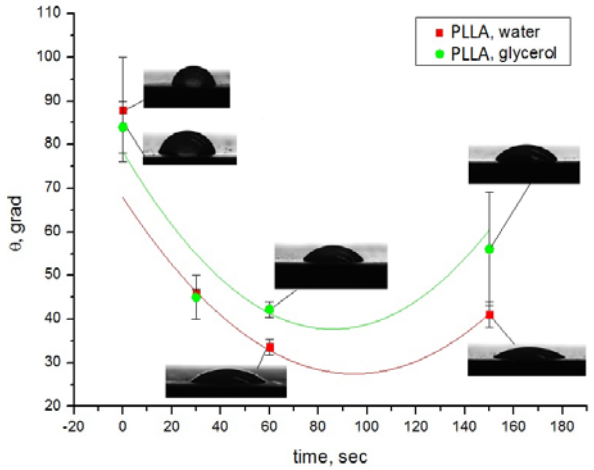


Fig. 1. Effect of modification duration on the PLLA samples wetting properties

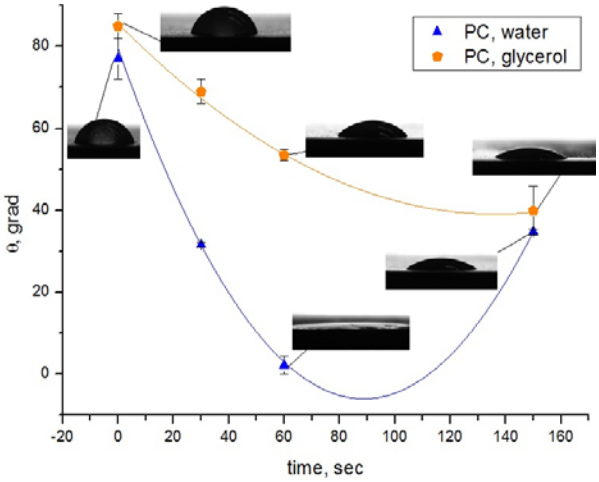


Fig. 2. Effect of modification duration on the PCL samples wetting properties

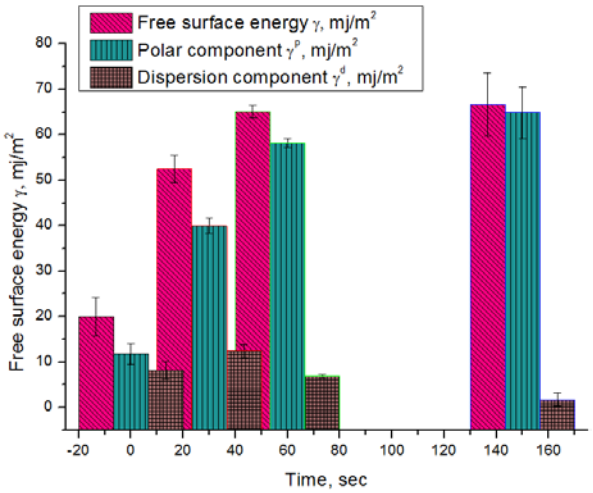


Fig. 3. Free surface energy (γ), polar (γ^p) and dispersion (γ^d) components of PLLA samples

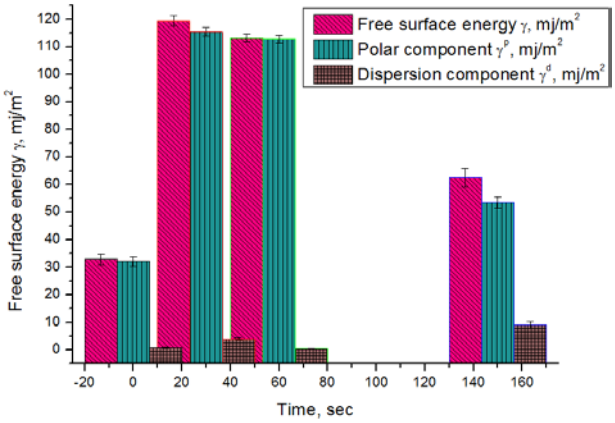


Fig. 4. Free surface energy (γ), polar (γ^p) and dispersion (γ^d) components of PCL samples

Conclusion

The paper investigated the modifying possibility of the biodegradable polymer materials surface (polylactic acid and polycaprolactone) in radio frequency discharge plasma, initiating hydroxyapatite solid target sputtering.

It was demonstrated that discharge plasma treatment adjusts the surface properties of biodegradable polymers – surface free energy and the wetting angle.

References

1. Tian H., Tang Z., Zhuang X., Chen X., Jing X. Biodegradable synthetic polymers: Preparation, fictionalization and biomedical application. Progress in Polymer Science 2012, V. 37, p. 237 – 280.

2. Твердохлебов С.И., Попков А.В., Шестериков Е.В., Мальчихина А.И., Осипова Е.В. Формирование многослойных биосовместимых покрытий на интрамедуллярных имплантатах с использованием плазмы высокочастотного магнетронного разряда // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013 г. – Т. 56. – № 11/3. – с. 62-70.

3. Owens K., Wendt R.C. Estimation of surface free energy of polymers. Journal of Applied Polymer Science 1969, V.13, p. 1741D – 1747D.

MEASUREMENT OF RADON GAS CONCENTRATION IN MOROCCO (OUJDA CITY EXAMPLE) USING ALPHAGUARD DETECTOR AND ITS EFFECTS ON POPULATION HEALTH

Author : Said TALBAOUI[1], scientific advisor : Fatiha Maaroufi[2]
Department of Physics, Faculty of Science, Mohamed First University, Oujda-Morocco
* E -mail of the corresponding author: s.talbaoui@yahoo.fr

Abstract
In the present work, we have measured the Radon gas concentration in different locations of the city of Oujda by using Alphaguard detector choosing each time the degree of opening and closing doors and windows**. ,** Radon is found in almost all the houses in small amounts, but the concentration, even between two neighboring homes can vary from one house to another. For this reason we have selected premises in different districts of the city of Oujda and its surroundings to measure this concentration (see map). In general the active detector is placed in a room Alphaguard. Thus for each measurement a form was given to the owner of the premises which we shall return (Figure 1). This form is used to record the date and time of the start and termination of the detector and the terms of measures such as the location of the room or the detector was placed (basement, ground floor, first floor…), the position of doors and windows (open or closed) and also the weather conditions (Wind, rain and cloud) which will help us to have an idea about the correlations that exist between the concentration of radon and these parameters.
The first part is concerned with the determination of Radon gas concentration in homes, results of measurements indicate that the highest value of Radon concentration in Radon concentrations were measured in different houses in the city of Oujda and shown by comparing the results obtained in the same housing with the same conditions are different, we note for example that the concentration of radon in the basement coming up to 59.75 Bq/m^3 as the maximum value and 37.75 Bq/m^3 as an average value for the case of local 7 located Hay Elqods, and it does not exceed a maximum value 48.25 Bq/m^3 with a mean value 34.91 Bq/m^3 in the ground floor. This allows to conclude that soil characteristics and life of its inhabitants, etc ... contribute efficiently in the variation of the concentration of radon. The present results show also that the Radon gas concentrations in oujda building is below the allowed limit from (ICRP) agency which is (200 Bq/m^3)
Keywords: weather conditions (pressure, temperature, humidity, wind, rain, cloud …), Radon gas, AlphaGuard detector

1**. Introduction**

Radon (222Rn) is a radioactive gas with a half- life of (3.82d). It is produced by the decay of naturally occurring radionuclide (226Ra), which is in turn is a decay product in the Uranium (238U) series. Thoron gas (220Rn), which is a Radon isotope, is a decay product in the Thorium (232Th) series. The half- life of Thoron is (56 s) which is much shorter than that of Radon. Because of such a short half-life of Thoron, its emanation from building materials, as well as, its infiltration from the ground and further migration is restricted to a few centimeters only. When Radon is inhaled into the lungs it decays by means of alpha-emission
Which causes ionization damage when it strikes the lung tissue. Over time, this damage causes lung cancer **[1].** Since Radon is a gas, it may escape into the air from the material in which it is formed, and since Uranium and Radium occur widely in soil, rocks and water, Radon gas is ubiquitous outdoors as well as indoors,the air that we inhale contains Radon. The Radon gas has been recognized as a radiation hazard causing excess lung cancer among underground miners **[2].**In the present investigations, the passive technique using the Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTDs) has been utilized for the comparative study of the indoor Radon level in the houses of oujda city.

2. Measurement of the Concentration of Radon

The measurements were performed as was reported in various premises of the city of Oujda. On the table we present the coordinates of the measurement points and the concentrations measured for each local and at different levels. As we also present the corresponding annual effective doses. And the probability of the risk of cancer.
According to the previous table it appears that the radon concentration is between 14.63 - Bq/m^3 and 94 Bq/m^3. Accurate measurement performed in the same room with the same conditions for opening and closing windows and doors allows us to analyze these results in a logical and acceptable manner. Thus we clearly observed that the concentration of radon in basements is always larger and decreases with increasing distance from the cellar, which allows us to confirm the idea which considers the soil as the main source of radon inside houses.
The concentration of radon varies from house to another in the same geological area as it varies greatly from region to another, depending on the geological nature of the basement (granite and schist containing more), and then the degree of confinement of the building.
Radon concentrations were measured in different houses in the city of Oujda and shown by comparing the results obtained in the same housing with the same conditions are different, we note for example that the concentration of radon in the basement coming up to 59.75 Bq/m^3 as the maximum value and 37.75 Bq/m^3 as an average value for the case of local 7 located Hay Elqods, and it does not exceed a maximum value

48.25 Bq/m^3 with an average value 34.91 Bq/m^3 in the ground floor. This allows to conclude that soil characteristics, life of its inhabitants, etc ... contribute efficiently in the variation of the concentration of radon.

Table: measures radon gas in indoor air.

local	Level	Doors	Windows	Concentration measured. (Bq.m-3)			Measurement time (hours)	effective dose (μSV/a)	Risk of cancer. (%)
				Max	Moy	Min			
1	Ground Floor	closed	closed	94.00	38.66	4.00	152	681.1	0.337
1	1st floor	closed	closed	51.25	21.29	7.13	44	375.1	0.186
1	2nd floor	closed	closed	34.25	17.98	4.41	32	316.7	0.157
2	Gd Floor	open	closed	31.13	22.66	11.94	23	399.2	0.198
2	1st floor	open	open	40	14.91	4.78	24	262.7	0.130
2	1st floor	closed	closed	33.25	17.69	7.13	27	311.6	0.154
3	cellar	open	closed	29.63	14.46	5.09	25	254.7	0.126
3	Ground Floor	closed	closed	30.38	19.44	11.25	24	342.5	0.170
4	2nd floor	closed	open	32	11.76	3.64	82	207.2	0.103
5	Ground Floor	open	open	44	20.6	5.56	24	362.9	0.180
5	Ground Floor	closed	closed	52.75	35.05	11.38	26	617.5	0.306
5	1st floor	closed	closed	39	27.39	16.63	36	482.5	0.239
6	-	-	-	43.5	24.64	6.03	37	434.1	0.215
7	cellar	open	open	35.75	14.45	4.84	5	170.3	0.084
7	cellar	closed	closed	59.75	37.75	6.94	13	296.3	0.147
7	Ground Floor	open	open	17.38	12.32	8.63	9	217.0	0.107
7	Ground Floor	closed	closed	48.25	34.91	13.5	15	615.0	0.305
7	1st floor	closed	closed	27.38	16.82	7.41	10	254.6	0.126
7	2nd floor	closed	closed	14.63	9.67	7.16	15	665.1	0.329
8	1st floor	closed	closed	28.75	11.23	2.09	163	197.8	0.098
8	Ground Floor	closed	closed	42.25	25.84	6.34	45	455.2	0.225

Generally, radon gas is diluted quickly in the atmosphere once it reaches the surface, which explains the concentration of radon in outdoor air, However, it can accumulate and reach high concentrations in a confined atmosphere such as a building. In order to implement the variation of the concentrations of the gas as a function of aeration We note from all the measures presented in previous table that more ventilation is strong and effective, unless there is the risk of having high concentration of radon in the home.. Ie it varies throughout the day depending in particular on the opening of doors and windows. Or the initiation of any fans in the kitchen. Thus the concentrations of radon that are measured in local with closed doors and windows are larger than those measured in premises with open doors and windows. The example of local 7 highlights a large difference between two concentration values measured for two different situations of doors and windows, note that when the windows and the door kept closed radon concentration reached 16.82 Bq.m-3; by cons during its opening the concentration decreases to 9.67 Bq.m-3. Finally we can say that more ventilation is strong and effective, there is less risk of having high concentrations of radon in the home.

Remember that each numbering indicated in the table corresponds to a well-defined local as following :

1 : hay sidi yahya. 2 : hay hassaline
3: Faculty of Science
4: Bellaoui 5: hay samara
6 : hay zengout
7 : hay elqods 8: Administration Office of the Faculty of Science

3. Parameters of variation of the concentration of radon

The main factors likely to change radon levels in the home are the underlying geology, season, building materials habitat, ventilation and heating mode. Atmospheric conditions such as wind speed, atmospheric pressure, humidity and temperature; are also involved in the modification of radon concentrations. For this reason we will look at the study of the concentration of radon depending on weather conditions..

4. Daily variations of the Concentration of radon

The concentration of radon in the home varies from hour to hour during the day according to the occupation and lifestyle of the inhabitants. This is why it is important to perform a measurement representative of the average value. To do this, we thought of making measurements during 24 hours (figureIII-5). These measurements are made at local 3

and with the following weather conditions: Humidity between 59.8% and 49.8%. Pressure varies between 950 mbar and 945 mbar,
and temperature which does not exceed 19.3 ° C. With these conditions and with the aid of Figure 2, We find that the measured concentration of radon during the night will tend to increase. This result is explained by the lack of human activity in the home, so a reduction during opening doors and windows. Conversely, this result will tend to decrease during the day from 8 :00am period of recovery of human activity in the house so an increase in the frequency of opening doors and windows.

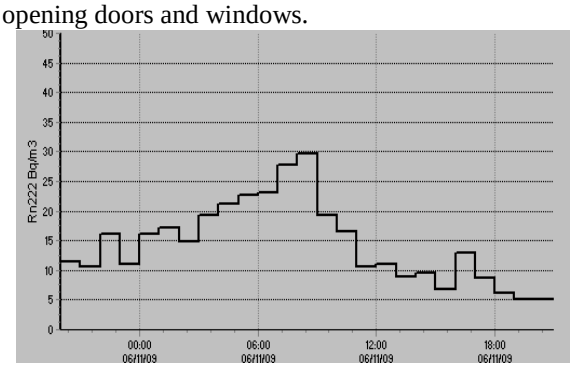


Figure 2: variation of the concentration of radon in indoor air for a period of 24 hours

5. Influence of Humidity on the Concentration of radon

The term «Humidity " is a percentage which indicates the amount of water vapor that is in the air relative to the maximum amount of water. This steam can be produced by respiration and transpiration of living things (people, animals, plants) and daily activities (cooking, showers, laundry ...). But the humidity; also comes from infiltration into the house of the external water in the ground or in the air. It is one of the causes of the variation of the concentration of radon in a given time and place.
To highlight the effect of humidity on the concentration of radon, we became interested in the correlation between the concentration of radon and humidity for the case of local 5 (Figure 3), the figure shows that during the period (12: 00.22: 00) the concentration of radon gas decreases with increasing humidity, however it increases when it decreases from 22: 00 hours, for conditions of temperature and pressure are constant (20.6 ° C, 958 mbar). What makes a small percentage of humidity tends to increase the concentration of radon.

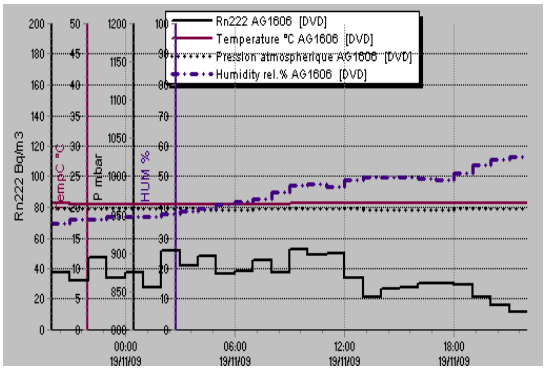


Figure 3: correlation between the concentration of radon and Humidity

6. Measurement in relation to the Places and its influence on the Concentration of radon

The concentration of radon in the soil is very variable depending on location and places. It varies considerably from one region to another because it depends primarily on the amount of radon emitted by the soil, the architectural structure of the building, and then the permeability of the floor and ceiling of the cave and the land on which the house is built (ie if the chosen location is in a high risk area or not radon), but the fact that a house has a very high radon levels does not necessarily mean that the next house will have the same problem and vice versa.
Finally, the presence of radon in buildings can not prevents us concluded that the concentration of the gas varies from one region to another depending on the structure of the house (whether old or new) and the quality of insulation and ventilation and the characteristics of the envelope building in contact with the ground (cracks, holes, porosity). But to confirm the influence of places on the concentration of radon had to make measurements on building materials which the house is built, it is also recommended to place more than one device in order to measure the concentration in different places at the same time in order to satisfy specific and such measures, since this case requires loins lasted to achieve it, which is not available in this work and dificult..

7. Variation of Radon concentration. With pressure.

Radon is a gas that can pass through cracks and open structural components in contact with the ground and more importantly by advection; therefore, the pressure in a building is usually lower than that of ground. This pressure difference is in determining the penetration of radon. It can be exacerbated by certain mechanisms : the chimney effect (which creates an ascending air current), wind (which can help to place the building in depression), the operation of aircraft air extractors, etc. ...
More the turnover rate of indoor air is low. More radon tends to accumulate.

From the curve shown in Figure (4) we find that the pressure recorded inside the house is between a maximum value 938mbar and a minimum value 927mbar, which respectively correspond to the offset values of the concentration 6.68 Bq/m^3 and 11.31 Bq/m^3, it should be noted that these measures were taken summers in a period where the wind was more or less strong. So we can conclude that a decrease in atmospheric pressure causes an increase of the concentration of radon in the ground surface. Radon enters the home through the interface. Floor / building, by molecular diffusion, but mainly due to the depressurization of the building by the chimney effect and wind effect. For these reasons it can be said that Radon enters houses when the air pressure inside is lower than the pressure in the soils. Indeed, it is because of this pressure difference that the air trapped in the soil is drawn into the houses. Consequently gas enters the foundations through the cracks, drains and sewers. To avoid the effect of the pressure of the radon concentration is proposed to install a depressurization system ground, which is composed Under the effect of daily temperature variations; Daily changes are caused by the thermal inversion phenomena: when the air at ground level is colder (and therefore denser) than the air located above ; vertical exchanges are reduced and radon released floor remains blocked at the surface. We generally observe maximum values during the night and those lowest in late afternoon. Therefore the maximum nocturnal values are related to the occurrence of temperature inversions (This phenomenon is called " chimney effect " which is the main responsible for the transport of radon from the soil into the interior of the house: the hot air, which rises in the house causes in basements and lower floors depression barely noticeable and it follows a suction effect, which can be amplified by fans or fireplaces. Therefore an increase in temperature causes an increase of the depression level of the ground. Therefore a larger quantity of radon will be released to the area within the building.

This is justified by the results in Figure (5) that represents an existing correlation between the concentration of radon and the temperature variation.

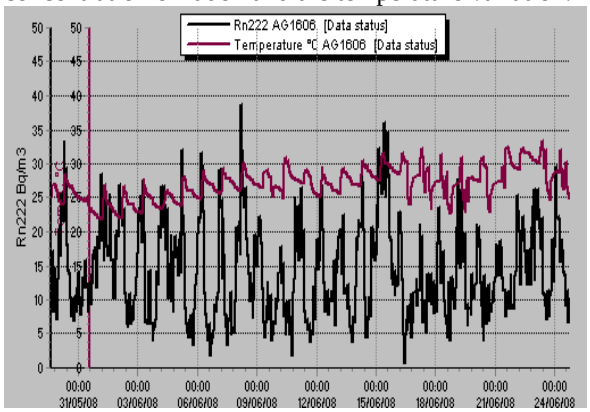


Figure 5: correlation between radon concentration and temperature

of a fan and a vent (this is a part which consists of a small opening or slot through which air can pass.) under the basement slab, which will push the air outward in order to alleviate the pressuredifference

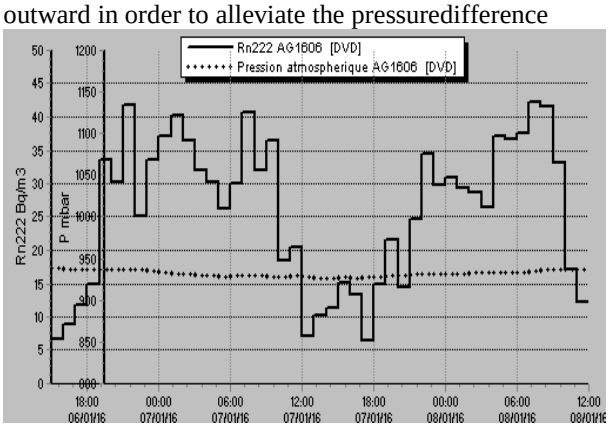


Figure 4: correlation between radon concentration and pressure

7. Measures in relation to temperature and its influence on the concentration of radon :

8. Discussion of results

The process chosen to carry out this research work is described later in this chapter, first of all description of the measures of Radon concentration in indoor air of homes and the problems encountered during the measurement period. The location and geological characteristics of the site and local. This experimental study is carried out in dwellings has enabled us to understand and which highlight mechanisms of penetration and accumulation of radon which control the concentration of this gas in the atmosphere inside a building and which manifest themselves in the following sources:

- Confined spaces, especially in basements and grouth down of homes which are poorly ventilated ; which means that the concentration of radon gas it decreases gradually as one moves in stages; Most of the time, we did encounter more high values. From the second floor. Each dwelling is in contact with the soil air is rich in radon through its foundations.

-The building materials may also contribute to the change in the concentration of radon inside, but the absolute contribution is normally low. According to the concentrations measured at the city of Oujda it seems that these concentrations are not related to the type of house or material, but to the geography and geology of the site. Although radon emissions can be related to the geology of the basement, it remains difficult to predict concentrations can be measured in houses because they are influenced by various factors such as soil characteristics, the presence of faults and cracks in the rock, the type of construction, foundation conditions and tenure.

-In outdoor air, radon concentrations typically range between 1 and 10 Bq/m3 **[3]**. "Radon has generally higher concentrations in buildings, where we spend most of our time than the outer atmosphere because of lower rates of air exchange prevailing in buildings.

Radon accumulates in indoor air, and the more so when the ventilation is poor, both when closing the doors and windows during the measurement period. Which means that aeration (ventilation) allow us in most cases to lower radon levels in homes. Thus it acts to reduce the risk which man is exposed for a modest cost. This is justified by the results in Table (III-1), from this the table we note that the measured radon concentrations are lower and far from the value recommended by the European Union which recommends people to act from concentrations exceeding 400 Bq/m3 for existing houses and 200 Bq/m3 for new homes **[4]**.

Finally, in order to confirm the influence of radon radiation effects on the health of local residents surveyed. Using (Table III-1) we thought to calculate the annual effective dose (μSv)) obtained by inhalation of radon in different premises Oujda. So we find that the effective dose within the premises is less than 10 mSv/a ; value recommended by the ICRP

9. Conclusions And Perspectives

The work was conducted on the data analysis part has shown that radon was able to answer the questions of how the various parameters involved in the production and transport of radon in a porous soil trying to characterize dependence of humidity, temperature and pressure on the concentration of radon, both to understand if there is a danger to health.

In general the concentration of radon indoors Oujda constructs is low, so it strongly depends on the ventilation. Note that Basements are the main sources of radon in cellars and ground floor.

Preliminary measurements of radon concentration were carried out in different houses in the city of Oujda with a Alphaguard monitor show that the concentration of radon increases in the cellars, and gradually decreases in the highest levels. Which means that soil is the main source of radon, however we noticed that ventilation plays an important role in reducing the concentration of radon. Note that high concentrations are measured in the cellars of houses with poor ventilation and when the doors and windows are kept closed along the measurement period.

The first simulation results show both a significant effect of humidity on the migration of radon in the soil, due to infiltration of outside water contained in the soil or in the air in the house, even if the soil has a significant power emanator air , based on the preliminary analysis of these results experimental and the dominant Oujda climate. Which is subhumid, so it is poor in humidity, we can say that the radon concentration does not increase with a great pace, so the concentration is low and remains acceptable, On the other hand variations in pressure and temperature atmospheric can not explain a well satisfactorily Radon variations observed at the level of a short measurement time. To do this so we would like in the future that the measures will be achieved in along term to highlight the effects of pressure, temperature as well as all seasons of the year; Since in winter the ground is warmer than the outside temperature at the depth. By cons in summer it is the opposite: the soil is naturally cooler than the outside air. Moreover, in normal conditions of use of buildings, it is expected that the measurements made during the winter will tend to increase the measurement result of a lack of ventilation of premises. Conversely, this result will tend to be reduced in the summer period of high ventilation. In all cases it is better to focus as measurement period in the fall or spring for approaching a value of the annual average radon concentration in the building. As we would like to make measurements in similar weather conditions to make comparisons between the concentrations of different places, then for having confirmed the influence of these places on the concentration of radon. Conversely, this result will tend to be reduced in the summer period of high ventilation. In all cases it is better to focus as measurement period, season autumn or spring, for approaching a value of the annual average radon concentration in the building. As we would like to make measurements in similar weather conditions to make comparisons between the concentrations of different places, then for having confirmed the influence of these places on the concentration of radon.

Finally we mention that in our work, the measurements made according to Table III-1 and from the data analysis of these results show that the concentration of radon does not pose a serious health problem in the population of the city of Oujda.

References:

[1] Guo et al. 1992.

[2] International Atomic Energy Agency **(**IAEA 2003).

[3] National Public Health Institute of Quebec, radon in Quebec, assessment of risk to health and critical analysis of intervention strategies, Jean-Claude Dessau, M.D, management of biological risks, environmental and occupational, December 2004.

[4] Institute for Subatomic Research Strasbourg: Module "rules and principles of radiation protection" Date of application: 01/09/2005.

SIMULATION FOR PID-CONTROLLER OF THE EXOSKELETON

Buluev I. I.
Science supervisor: A. V. Didenko
National Research Tomsk Polytechnic University
ilusha070893@mail.ru

Science progresses by leaps and bounds, new control systems emerge every day, and yesterday science fiction becomes reality, thanks to the imagination, we have to be created in the current conditions.

One of the most typical futuristic visions would be: space, flying on super speed ships, supernatural high-speed ships cruising in space with supernatural creatures on board, both living beings and robots. The latter, nowadays, seem to be given more attention as more and more application of robots appears in such diverse spheres as aviation, military industry and medicine. It is in those areas where exoskeletons are expected to play a vital role in the rehabilitation of the disabled.

As a concept, this idea dates back as far as the 60s of the XX century: an exoskeleton is a device, designed to increase the work force by with the help of an. The design of the exoskeleton is a biomechanical frame, following human biomechanics to scale up efforts in movements.

The main goal of my researches is creation of simulation model of the exoskeleton of lower extremity. This development will useful for many disabled people: they can buy it cheaper in Russia than that in Japan, and, of course, they will they will be able to get rid of the crutches, etc.

Scientists have carried out a number of different studies and tests in order to create the possibility of movement for people who for some reasons have to use a wheelchair in a wheelchair. The problem turns out to have ever increasing importance due to a growing number of such people. Experts admit that earliest possible and intensive therapy can assist patients in regaining their motor functions, which is particularly salient for people after strokes and heart attacks [4].

However, what if we take and combine problem and one of its possible solutions??? Therefore, further research into exoskeleton application is deemed as prospective one.

Given the fact that today most complex electrical circuits implemented on PID controllers, it was decided to organize a system of control of the lower extremity exoskeleton through this device. The PID controller is a device that is currently used in electrical devices, appliances due to obtaining the necessary accuracy and quality of the transition process. The regulator generates a control signal, which is the sum of three terms, the first of which is proportional to the difference between the input signal and the feedback signal (error signal), the second is the integral of the error signal, and the third represents the derivative of the error signal.

Of course, there are many alternatives to the PID controllers such as, for example, hydraulic and pneumatic actuators. However, their use is hardly justified, since they are used in applications requiring high-speed response and high output power. Moreover, the use of pneumatic and hydraulic actuators may result in fluid leaking, and performance degradation in extreme temperatures. Undoubtedly, it is possible to use electric motors and actuators, which is advisable, because they are scalable, adaptive to change, they are not prone to leak, but their weight and dimensions are impressive, making them useful for larger structures.

Thus, given all the above-mentioned considerations, an electric actuator should be chosen as mechanization base. The control method will be built on the basis of PID. The most common scheme of PID-controller, which would carry out the necessary operations, is the circuit shown in Figure 1 [3].

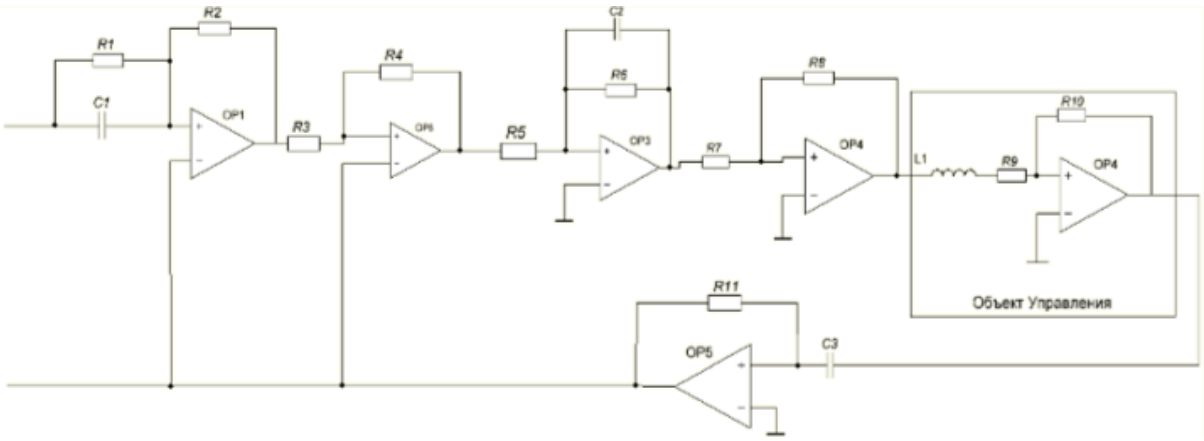


Fig. 1. Schematic diagram of PID-controller

It is well known that all the calculations are easier to produce by means of mathematical modeling packages. Therefore, we form a block diagram of an operator-in MathLAB based on existing electrical circuit:

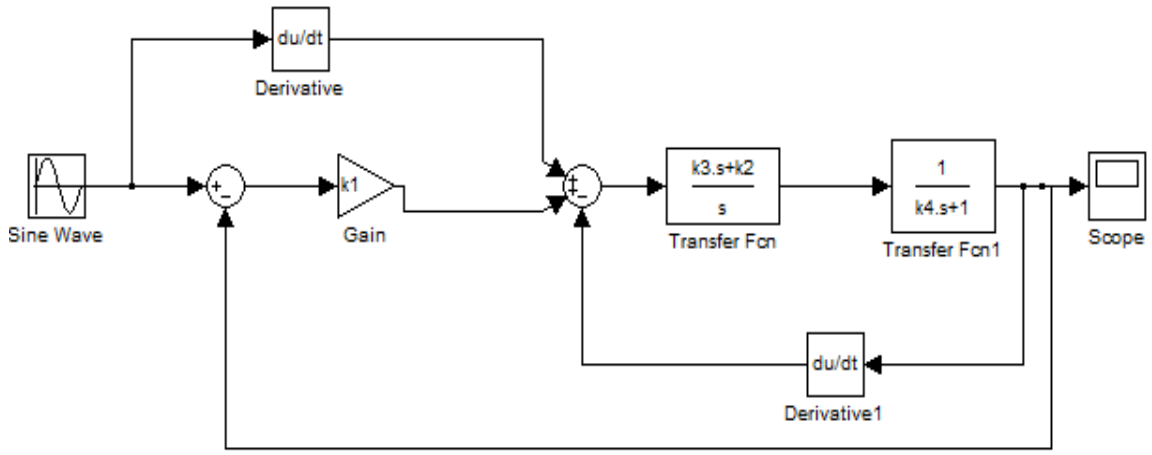


Fig. 2. Operator-block diagram of the PID

Using OSS, the transfer function of the entire circuit can be made:

W(s) = $\frac{y}{u}$, where y - is a signal which is the output of our system, and the U – input signal of our system.

The equation of this system will have the following form:

$$\left(k_1 + \frac{k_2}{s}\right)(sU + k_3(U - y) - s \cdot y)\frac{1}{k_4 s + 1} = y$$

We make the necessary changes and obtain an expression for the PD system:

$$W(s) = \frac{(k_3 + s)(k_1 s + k_2)}{(k_3 + s)(k_1 s + k_2) + k_4 s + 1}.$$

Based on the obtained function, we need to determine the stability of the system and for this we need to know what values will make gains. The next step will be to consider the denominator of the transfer function of the system:

$$(k_3 + s)(k_1 s + k_2) + k_4 s + 1 = k_1 s^2 + s(k_1 k_3 + k_2 + k_4) + (1 + k_2 k_3)$$

Thus, solving the equation of the second order, we obtain the system of inequalities to be satisfied by the denominator of the transfer function:

$(k_2 + k_4)^2 > k_1(2k_2 k_3 - 2k_3 k_4 + 4 - k_1 k_3)$, $k_1 > 0, k_2 > 0, k_3 > 0, k_4 > 0$ – based on the algebraic Hurwitz criterion [1].

Accordingly, choosing the coefficients so that they meet these criteria, we can get the necessary coefficients of the PID controller.

These conditions are indicators that the test system will be stable.

As an example, let us substitute the following OSS investigated parameters and check the stability of the system:

$$k_1 = 0.001, k_2 = 100, k_3 = 1000, k_4 = 100$$

The system is stable, to see what the construction of the root system of the plane, as shown in Fig. 3.

Thus, now we have dependences of coefficients of PID-controller, and number off its OSS. So, we made exoskeleton's simulations of the lower extremities, which can be used in medicine as simulators for bedridden patients after a heart attack or stroke, and for post-surgery patients who need to restore their walking function.

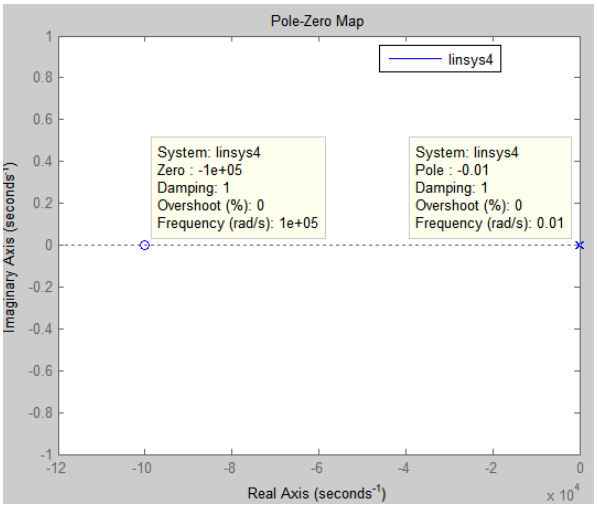


Fig. 3. Root plane of the system PID.

Literature:

1) Kim DP Automatic Control Theory. V.1. Linear systems. - M.: FIZMATLITB 2003. - 288.

2) Circuitry IC TTL and CMOS STTL: Nikitin VA Textbook. M. MEPhI. 2010. - 64.

3) Solid state circuitry. U. Tietze, Schenk K. 12th ed. Volume I: Per. with it. - M.: DMK Press, 2008. - 832 s.: Il.

4) Electronic library of TPU: [Electronic source]. Access mode: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6285711. Article: "Mechanical System", Free.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
SECTION 1. POWER INDUSTRY 3

Бай Ю.Д.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ 5

Бойко К.Н., Манусов В.З.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ 7

Бухаркин А.А., Коряшов И.А., Мартемьянов С.М.
ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ 9

Васильева Ю.З.
ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 11

Ганбат Энхбаяр
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕЛЬНИЦЫ МШЦ5.5х6.5 13

Гинтинг Рутта, Иванов А.В., Семенов С.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ 15

Гордиенко И.С.
ВСЕРЕЖИМНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ В ЦЕЛЯХ ИХ УТОЧНЕННОЙ НАСТРОЙКИ 17

Ивашова Е.В.
ГИБРИДНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ 19

Ивойлов Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ ЗАМЫКАНИЯ ПРОВОДНИКОВ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР 21

Корнев В.А.
ПОСТРОЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 23

Кравченко Е.В.
О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ 25

Лавринович А.В., Эрфорт А.А.
ПРОГРАММА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСЦИЛЛОГРАММ 27

Ларионов Д.В.
РАСЧЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТЕСЛА 29

Леонова В.К.
ЭЛЕКТРОБАЛАНС СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА – ДИНАМИКА, ПЕРСПЕКТИВЫ 31

Миляев Д.В., Нгуен Данг Куанг
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА 33

Падалко Д.А.
УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ 35

Петрусёв А.С.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНООСНОГО ТРЕКЕРА И АКРИЛОВОГО КОНЦЕНТРАТОРА 37

Присекин А.И.
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УСТРОЙСТВОМ ГРАМ 39

Свечканева А.А.
ПОЛУЧЕНИЕ ФАЗ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА 41

Семенов А.С.
СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ И FRAX-150 ..43

Сташков И. А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 45

Степанов К.И.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ 47

Стругов В.В., Антипов С.А.
ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ 49

Токарев И.С.
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ГКС «САХАЛИН» 51

Халдаров Ш.К.
ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ.....53

Шевцов Д.Е.
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИНХРОННОЙ КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 55

Шевченко Е. С., Чернышов М. О.
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ 57

Blum K.E., Ostertak D.I
COMPARISON ANALYSIS OF DIFFERENT CIRCUITS OF ELECTROSTATIC ENERGY CONVERTER.....59

СЕКЦИЯ 2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
SECTION 3. INSTRUMENT MAKING 61

Афанасьев В. А.
ОЦЕНКА ЗАДЕРЖКИ «END-TO-END» В БЕСПРОВОДНОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЕ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ 63

Баландина Т.Н., Баландин Е.А.
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПЕЧАТНОЙ ОБМОТКОЙ НА ЯКОРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 65

Баландин Е.А., Баландина Т.Н.
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП.....67

Белоусов Д.А.
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ДЕФЕКТОСКОП ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ 69

Бикбулатов А.С.
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ 71

Богданов А.В., Богданова О.В., Виноградов П.С.
ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВИОНИКИ С ТРЕХМЕРНЫМ РЕЖИМОМ ИНДИКАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ 73

Большакова Е.Ю., Михайлова О.В., Виноградов П.С.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНДИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОЛЯ КАБИНЫ ПИЛОТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА 75

Борминский С.А., Солнцева А.В., Боранбаев М.С.
УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 77

Бурмитских А.В.
ОЦЕНКА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ 79

Волков А.В.
СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАГНЕТРОНОМ 81

Волков А.В., Силкин Д.С.
РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СНЯТИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ-РАТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ 83

Герасимов С.И.
ВЛИЯНИЕ НЕПРАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ 85

Горохова Е.С., Солопченко С.А.
КОМПАКТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ МЫШЬ «НА ПАЛЕЦ» TOUCHSIDE 87

Гудков С.А.
ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА НАКОПЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ 89

Великанов А.В., Жаринов И.О., Изергин К.М.
НАШЛЕМНАЯ СИСТЕМА ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ И ИНДИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ОПТИКО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ.....91

Захарова О.Л., Кирсанова Ю.А., Жаринов И.О.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ 93

Ивашков Д.В., Батранин А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СКАНЕРОВ КАК СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ 95

Калашников Д.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНДУКЦИОННОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ 97

Калашников Д.А.
СРАВНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЕФЕКТОВ В АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРЕЩИН В ОБЪЕКТАХ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ 99

Кирсанова Ю.А., Захарова О.Л., Жаринов И.О.
СТРУКТУРА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ 101

Книга Е.В., Жаринов И.О., Костишин М.О.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОМЕХОЭМИССИИ БОРТОВОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ 103

Кожевников Д. С., Шатилов Н. П.
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....105

Коновалов П.В., Батова С.В., Благонравов С.А.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СРЕДА КОНФИГУРИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ИЗДЕЛИЯХ АВИОНИКИ 107

Костишин М.О., Жаринов И.О., Книга Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ В АВИОНИКЕ 109

Костишин М.О., Жаринов И.О., Жаринов О.О.
ОЦЕНКА СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ИНДИКАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ОТОБРАЖАЕМЫХ ЦВЕТОВ И ИХ ОТТЕНКОВ 111

Кузнецов С.В., Соколова Н.В., Григорьева И.В.
ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АВИОНИКИ НА ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРАХ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 113

Кулагин А.Е., Торгаев С.Н.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ CuBr-ЛАЗЕРА 115

Лепунов А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА РАБОТУ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 117

Литвишко Е.С., Горешнев М.А.
О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ 119

Манохин Г.О., Эрдынеев Ж.Т., Гельцер А.А.
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ МЕТОДА MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION В МНОГОКАНАЛЬНЫХ РАДАРАХ 121

Мусоров И.С., Торгаев С.Н., Чертихина Д.С.
ОСУШИТЕЛЬ ВОЗДУХА НА ЭЛЕМЕНТЕ ПЕЛЬТЬЕ 123

Нгуен Чонг Иен
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ТРЁХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА ФОТОКАМЕРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОРТОФОТОСЪЁМКИ 125

Опольский В.В., Чурсин Ю.А.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗРЯДОВ ПУТЕМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА 127

Отузбаева Д.К.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ 129

Паргачёв И.А., Краковский В.А., Серебренников Л.Я.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ И ЗАТВОРОВ В ОСНОВНЫХ РЕЖИМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....131

Савин М.А.
ДРЕЙФ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА 133

Савинова Д. М., Кругликова Л. Л.
ВЛИЯНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ИЗЛУ-ЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS 135

Сергеичев К.С., Малмыго А. В.
МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОГО РАДИОУДЛИНИТЕЛЯ СЕТИ DMX512 137

Серов А.Н.
ВЛИЯНИЕ ШУМА КВАНТОВАНИЯ АЦП НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ.....139

Солнцева А.В., Борминский С.А., Курылёва П.А.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРИХОДНО-РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ 141

Старчак А.С., Порхунов А.А., Уваров А.А.
КАРМАННЫЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ 143

Сухарников К.В., Рычков М.М.
ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ НАСТРОЙКЕ БЕТАТРОНА 145

Тимофеев В.Ю.
ЛОГГЕР УСКОРЕНИЙ 147

Туранов С.Б., Козырева И.Н., Яковлев А.Н.
СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ 149

Тюнин С. С., Храмцов А. В.
ИСТОЧНИК АСИММЕТРИЧНОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГЛИОКСАЛЯ 151

Хорсов П.Н., Суржиков В.П.
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ 153

Худоногова Л.И., Бедарева Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ 155

Шестаков А.А.
ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛЬНОТОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА....157

Bogomolov P.G.
TWO-CIRCUIT ELLIPTIC FILTER....159

Grigoriev M., Turushev N.
FIBER OPTIC CURRENT SENSOR 161

Kuznetsova E.Y., Filippov G.A.
SYSTEM OF VISUAL INDICATIONS OF THE HORIZON LINE....163

Nechaev K.A.
THE EFFECT OF INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM ON THE PRODUCTION QUALITY....165

Tarasenko N.V.
THE MODIFIED DUAL-BAND PRINTED QUASI-YAGI ANTENNA 167

Ju Yangyang
ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT 169

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
SECTION 3. TECHNOLOGY, EQUIPMENT AND MACHINE-BUILDING PRODUCTION AUTOMATION....171

Антропова Л.Б., Бугаёв А.В., Грузин А.В.
ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА 173

Бабакова Е.В., Чудинова А.О.
БЫСТРОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЯ РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 175

Буханченко С.Е., Пустозеров К.Л., Зуев А.В.
УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ И ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИЯХ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА 177

Васильев А.В. Кремлева Л.В., Лобанов Н.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК В ВИТКАХ РЕЗЬБЫ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНЫХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ 179

Кокарева В.В., Малыхин А.Н., Смелов В.Г.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПО ПРИНЦИПАМ «БЕРЕЖЛИВОГО» МЕНЕДЖМЕНТА НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 181

Коновалова А.Д., Бугаёв А.В., Грузин А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ДЕФОРМАЦИЮ ОСНОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА РВС-50000 183

Краев Е.В.
РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТЕНТОВ 185

Мархаева А.Р. Дегтерёв А.С.
ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ FE-CR-V-MO-C 187

Массон И.А. , Лазуркевич А.В.
НОВАЯ ГИБРИДНАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ КОРОБОКА ПЕРЕДАЧ 189

Мищенко Е.С.
ВЛИЯНИЕ МНОГОПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10Р6М5 191

Мищенко И.С., Соколов А.П.
АТТРАКЦИОНЫ С МУСКУЛЬНОЙ ТЯГОЙ 193

Полянчикова М.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХОНИНГОВАНИЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ГИЛЬЗ ДВИГАТЕЛЕЙ 195

Пономарев А.В.
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТОГО НАСОСА НШН-600 197

Разумов С.В.
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА ДЛЯ РУЧНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОБУР С РЕДУКТОРОМ С ПТК 199

Степанова Д.Л.
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБА ...201

Тарасенко С.С., Соколов А. П.
ДОКУМЕНТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 203

Тё О.М.
ОБРАБОТКА ОТХОДОВ ДЕРЕВОПРОИЗВОДСТВА 205

Филонов В.В., Коперчук А.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ БЛОКИРОВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ 207

Хайдарова А.А., Силантьев С.А.
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ ИЗ СТАЛИ Р6М5 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ 209

Хреновский А.С., Пушкарев М.С.
ГАСИТЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ УДАРНОГО ТИПА 211

Чуприн А.Е.
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 213

СЕКЦИЯ 4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
SECTION 4. ELECTROMECHANICS 215

Абрамовская А.В.
ДВУХКАНАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ТИПА ЛДТ НА ОДНОМ МАГНИТОПРОВОДЕ....217

Брагин А.Д.
ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СО СТРУКТУРНЫМ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ....219

Брянцев А.А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ БАЙПАСНОГО УСТРОЙСТВА....221

Горбунов Р.Л.
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ 223

Диаб А.А.З.
БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS 225

Дрозд А.С.
УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МАСЛОПРОКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА ТЕПЛОВОЗА 227

Зыль К.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ 229

Калугин В.М.
ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАМВАЕВ 231

Кашеутов Д. В.
ВЫБОР ВАРЬИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ 233

Кашин П.И.
ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ДАТЧИКОМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ 235

Клабуков Р.П.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПАЗОВОЙ ОБМОТКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ 237

Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ СТАТОРА 239

Козырева О.И., Ильин А.В., Андрусич А.В.
ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СКОЛЬЗЯЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА 241

Кондратенко О.О.
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОДНОКРАТНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ КОНСТРУКЦИЮ ПРИ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЯХ 243

Кортенко А. В., Усачева Т.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ СОХРАНЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ МАШИНЫ 245

Кунулеков Д.С.
ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 247

Кунулеков Д.С.
АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 249

Михайлов И.Ю., Федянин А.Л.
АЛГОРИТМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРОЛЛЕЙБУСА 251

Николаев Д.В.
СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 253

Рогова О.В.
РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЗАЗОРОВ ЗУБЧАТЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ 255

Рогова О.В.
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ 257

Розаев И.А.
МАТМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ 259

Русскин В.А., Однокопылов И.Г.
ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ–АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ» 261

Самодуров И.Н., Кодермятов Р.Э., Иванова А.Г.
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОТОРА МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ 263

Селиванов Н.А.
КОМПЕНСАЦИЯ И ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КРУТИЗНУ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ 265

Серов А.Б.
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ANSYS 267

Симон Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОЗИЦИИ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕ-РИСТИКИ МАЛОГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТ-ЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО - ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА 269

Смирнов А.В.
МЕТОДОЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОЛЬЦЕВОЙ ОБМОТКОЙ ЯКОРЯ 271

Стахеева О.Ю.
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПЛАСТИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ 273

Трусов Е.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ С РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ 275

Черепенников О.В.
ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРОЛЛЕЙБУСА МАРКИ АКСМ-321 277

Шадрин А.В.
СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS SIMATIC 279

Шпет Н. А.
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛИФТОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 281

Шустова О.О., Разумова Е.И., Громаков Е.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ADVANCED PROCESS CONTROL В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ НЕФТЕДОБЫЧИ 283

Gorbunov R.L.1
SUPPLY VOLTAGE DISTORTION EFFECT ON OUTPUT VOLTAGE AND INPUT CURRENT OF THE AC CHOPPER FEEDING AN INDUCTION MOTOR 285

СЕКЦИЯ 5. СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
SECTION 5. MEDICAL DEVICES AND INSTALLATIONS 287

Адиева Ю.Р.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ XECL-ЭКСИЛАМП В ФОТОЛЕЧЕНИИ 289

Бексолтанова С. С.
РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ 291

Богомолова Н.Н., Усеинов А.С.
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PLLA ПЛЕНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ 293

Бочков М.С., Качалин А.С., Баранов В.Н.
МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ 295

Бочков М.С., Качалин А.С., Баранов В.Н.
ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ОПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ АКУПУНКТУРЫ 297

Глинов Д.В.
ПРОСТАЯ СЕНСОМОТОРНАЯ РЕАКЦИЯ ЧЕЛОВЕКА 299

Глинов Д.В.
АУДИОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА 301

Горбачёва А.С., Ситник К.А., Толмачев И.В.
ПРИМЕНЕНИЕ 3D РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МРТ БЕРЕМЕННЫХ 303

Гордин М.И., Добро Л.Ф.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАНАХ 305

Горных Е.П.
НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ CUBR-ЛАЗЕРА В МЕДИЦИНЕ 307

Григорьев М.Г., Турушев Н.В., Авдеева Д.К.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА 309

Дорошенко И.В.
ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ – КОМПЬЮТЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ 311

Епифанцев В.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНО И ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ПРИ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ 313

Белавская С.В., Жумантаева Н.А., Коробченко А.С.
ВОЗМОЖНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЫХЛОСТИ КОЖНОГО ПОКРОВА МАЛОЙ ПЛОЩАДИ 315

Иванова А.А., Киселева Е.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО РАСТВОРЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ 317

Иванова Л.Ю.
ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ МЕТОД РАЗРУШЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ КОНКРЕМЕНТОВ КРОВЕНОСНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА 319

Идимешева Н.Н.
РАЗРАБОТКА РЕЖИМА РАЗМОРОЗКИ КРИОДЕСТРУКТОРА 321

Карпова Э.В.
ПРЕДПОСЫЛКА К СОЗДАНИЮ ТОЧНОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕКА 323

Карякина О.Е., Русинова И.М., Карякин А.А.
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ НОВОРОЖДЕННЫХ В ОТДЕЛЕНИИ РЕАНИМАЦИИ 325

Кленевский А.В., Богатов Н.М., Скворцов В.П.
ТРЕХМЕРНОЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕНТГЕНОТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА 327

Колосов И.В..
ПРИМЕНЕНИЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В БИОМЕДИЦИНЕ 329

Тургунова Н.Д., Кусаинов Р.К.
ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СТЕТОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЦА И ЛЕГКИХ 331

Ленивцева Ю.Д., Больбасов Е.Н., Лапин И.Н.
ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ 333

Литвинова С.А, Аристов А.А.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ В КАПЕЛЬНОМ ОБРАЗЦЕ 335

Лукашенко Е.И., Юрин М.Е.
СПЕКТРАЛЬНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ АНАЛИЗАТОР В ФАРМАЦЕВТИКЕ 337

Макаров А.Г, Кильпияйнен Э.И.
ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНО – АППАРАТНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ КОМПЛЕКС 339

Никитина М.А., Смаль Т.С., Ижболдина О.П.
ПРИМЕНЕНИЕ БИОУПРАВЛЕНИЯ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА 341

Оверчук К.В., Старчак А.С., Лежнина И.А.
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА 343

Понетаева Е.Г., Григорьян Л.Р., Богатов Н.М.
РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ В НЕРВНОМ ВОЛОКНЕ 345

Порхунов А.А., Лежнина И.А., Уваров А.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА 347

Путрик М.Б., Лаврентьева Ю.Э., Анцыгин И.Н.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ИМПЛАНТАЦИИ ЗУБОВ 349

Рипенко В.С., Горбачёва А.С., , Толмачев И.В.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ МАТЬ-ПЛОД 351

Руденко Е.Ю.
ХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЯДРА ХРУСТАЛИКА 353

Синицын А.С., Богатов Н.М.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФАНТОМОВ 355

Стромов Г.Г., Рыжков Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ 357

Тимченко К.А., Аристов А.А., Мусоров И.С.
РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ГОЛОВЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 359

Турушев Н.В., Григорьев М.Г., Авдеева Д.К.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕНСОРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НАНОБИОИНТЕРФЕСА ДЛЯ МИОТОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ 361

Ходыревская Ю.И.
НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ КАРДИОЛОГИИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА 363

Volokitina T.L., Bolbasov E.N.
ELECTROSPINNING AND SOLUTION BLOW SPINNING PRODUCTIONS METHODS OF POLYMER SCAFFOLDS FOR TISSUE ENGINEERING 365

Malchikhina A.I.
SURFACE PROPERTIES CHANGING OF BIODEGRADABLE POLYMERS BY THE RADIO FREQUENCY MAGNETRON SPUTTERING MODIFICATION 367

Said Talbaoui, Fatiha Maaroufi
MEASUREMENT OF RADON GAS CONCENTRATION IN MOROCCO (OUJDA CITY EXAMPLE) USING ALPHAGUARD DETECTOR AND ITS EFFECTS ON POPULATION HEALTH.....369

Buluev I.I.
SIMULATION FOR PID-CONTROLLER OF THE EXOSKELETON.....374

ОГЛАВЛЕНИЕ.....376

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
XX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 1

Компьютерная верстка Т.М. Плахова

Дизайн обложки А.М. Петелин

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.05.2014. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. **45,01**. Уч.-изд. л. **40,71**
Заказ **000-12**. Тираж 100 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