

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Сборник материалов
III Поволжской научно-практической конференции
7 – 8 декабря 2017 г.

В двух томах

Том 2

Казань
2017

УДК 621.313
ББК 31.261
П75

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.Г. Макаров,
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ» Р.С. Кашаев

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), Э.В. Шамсутдинов,
О.В. Козелков, Н.Д. Чичирова, Г.У. Матушанский

**П75 Приборостроение и автоматизированный электропривод
в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном
хозяйстве:** сборник материалов III Поволжской научно-
практической конференции (Казань, 7–8 декабря 2017 г.): в 2 т.
Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 340 с.

ISBN 978-5-89873-495-4 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-496-1

Опубликованы материалы III Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» по следующим научным направлениям:

1. Приборостроение и управление объектами мехатронных и робототехнических систем в ТЭК и ЖКХ.
2. Электроэнергетика, электротехника и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ.
3. Инновационные технологии в ТЭК и ЖКХ.
4. Актуальные вопросы инженерного образования.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN 978-5-89873-495-4 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-496-1

© Казанский государственный энергетический университет, 2017

Секция 1

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЭК И ЖКХ

Председатель

О.В. Козелков – к.т.н., заведующий кафедрой ПМ ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Секретарь

О.В. Цветкова – м.т.т., инженер кафедры ПМ ФГБОУ ВО «КГЭУ»

УДК 621.31:665

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Р. Бикулов, О.В. Козелков

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент О.В. Козелков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Аннотация. Приведены несколько типов электротехнических систем нефтегазодобывающих предприятий.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, асинхронные двигатели, системы контроля и управления.

Электротехнический комплекс буровой установки представляет собой совокупность подсистем, обеспечивающих выработку, распределение, преобразование и использование электрической энергии, а также управление всеми указанными подсистемами для механизации автоматического контроля и управления технологическим процессом проводки глубоких скважин. Выбор варианта системы электроснабжения буровой установки зависит от ряда условий, включая вид привода основных исполнительных механизмов (электрический или неэлектрический), вид электроснабжения (централизованное или автономное), требования к надежности электроснабжения, уровень питающего напряжения, род тока, состав и схему подключения электроприводов. Наиболее перспективной является структура электротехнического комплекса буровой установки систем контроля и управления на основе частотно-регулируемого электропривода переменного тока с преобразователями частоты. Специфика электроснабжения буровых работ, особенно при разведочном бурении, обусловленная удаленностью от энергосистем, территориальным рассредоточением объектов, временным характером работ, небольшими нагрузками в линиях и разно-

образом возможных энергоисточников, не позволяет использовать рекомендации в области оптимизации общепромышленных систем электроснабжения и требует разработки научных основ оптимального электроснабжения буровых установок. Источником поступления электроэнергии на буровой установке является сеть электросистемы или собственная электростанция.

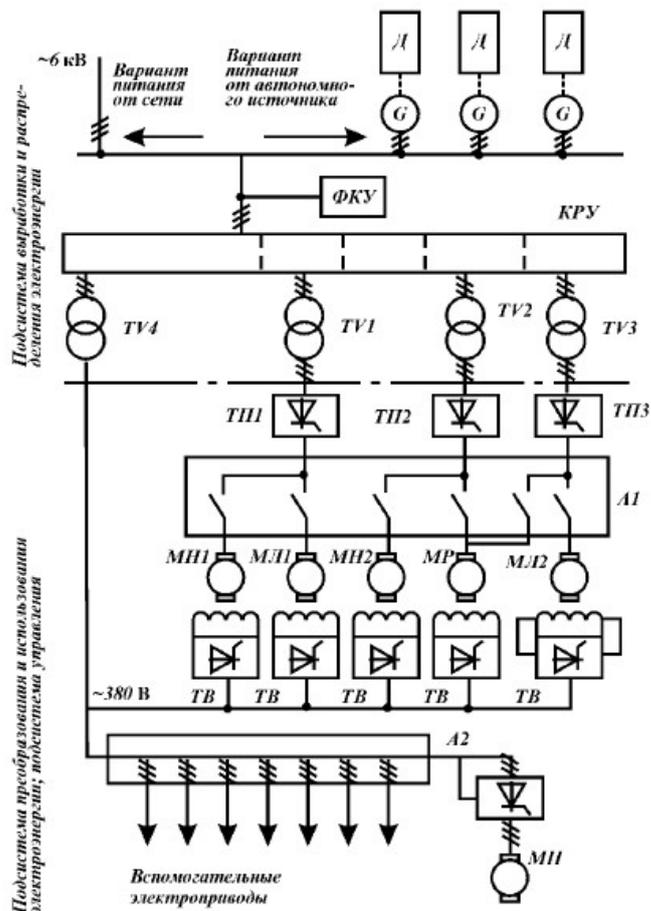


Рис. 1. Типовая схема электротехнического комплекса буровой установки с электроприводом постоянного тока

Для насосной добычи используют насосы-качалки или погружные центробежные электронасосы.

Наиболее распространенными для привода станков-качалок являются короткозамкнутые асинхронные двигатели в закрытом обдуваемом исполнении единой серии АОП2 с повышенным моментом. Для контроля и управления электроприводами станков-качалок применяются блоки контроля и управления серии БГШ.

Блоки могут быть также использованы при групповом автоматическом повторном включении (АПВ) и отсутствии АПВ вообще. Существует три модификации схем блоков контроля и управления. В первой из них предусматривается контроль и управление двигателем станка-качалки

в зависимости от давления в выкидном коллекторе. Во второй модификации предусматривается контроль и управление двигателем в режиме периодической эксплуатации скважины. Третья модификация схемы предусматривает контроль и управление двухскоростным двигателем короткоциклового электропривода. Для управления, контроля и защиты асинхронных электроприводов станков-качалок мощностью 1,7–55 кВт разработаны блоки управления БУС-ЗМ, имеющие в зависимости от мощности управляемого двигателя семь исполнений. Конструктивно блок БУС-ЗМ выполнен в виде шкафа напольного типа. Блок обеспечивает ручное, автоматическое, программное и дистанционное контроль и управление электроприводом станка-качалки. При ручном контроле и управлении возможно включение и отключение двигателя станка-качалки кнопками контроля и управления, расположенными в блоке.

Погружные насосы приводятся в действие электродвигателем, помещенным в скважине, совместно с насосом. Благодаря этому устраняется длинная движущая механическая связь между приводом и насосом, входящая основным элементом в глубиннонасосную установку. Это позволяет повысить мощность погружного насоса, применить центробежный тип насоса, наиболее подходящий для больших отборов жидкости из скважины.

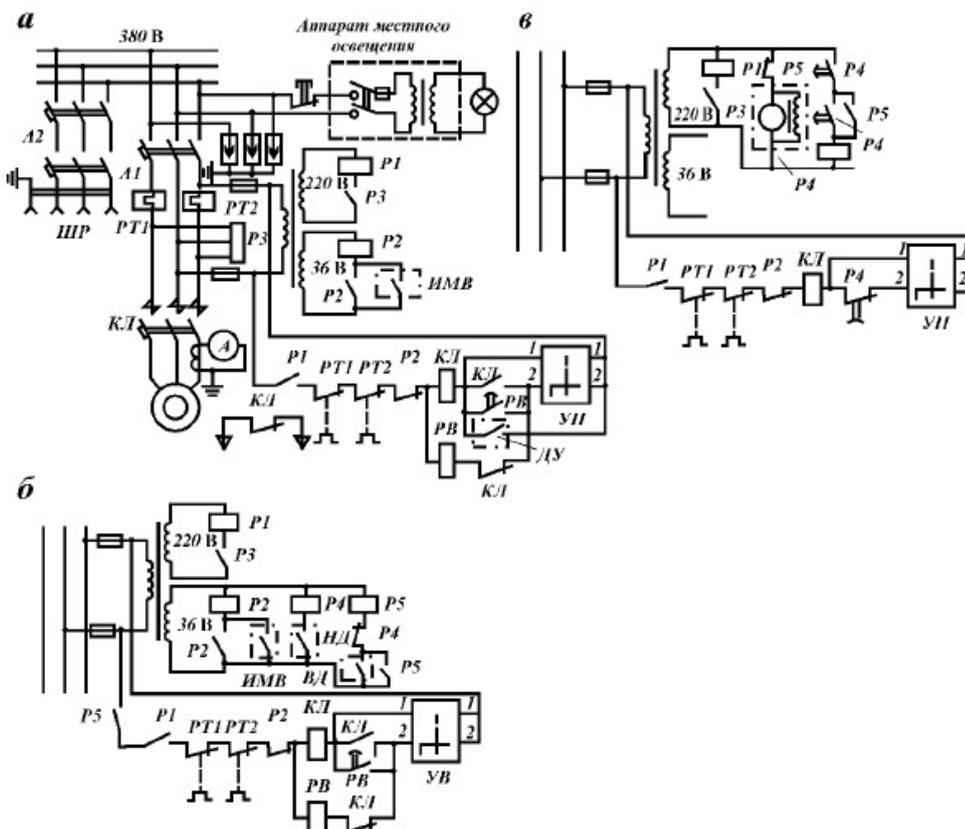


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема блока контроля и управления БГШ

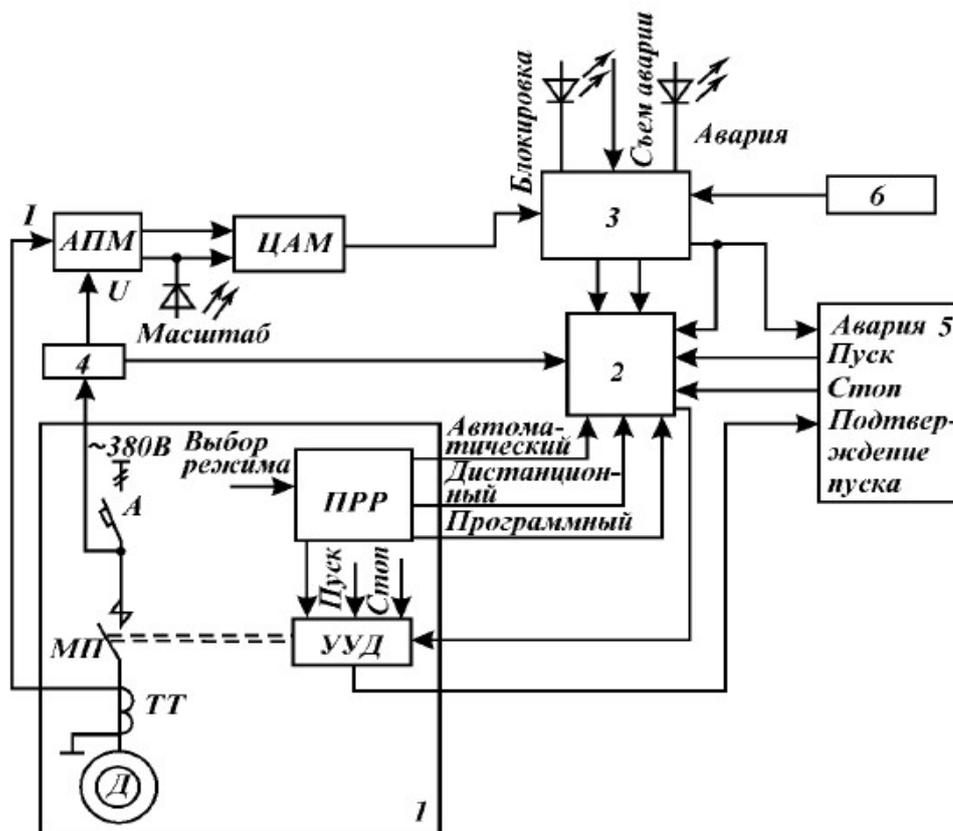


Рис. 3. Функциональная схема блока БУС-3М

Большая часть компрессорных установок и все насосные установки нефтяных и газовых промыслов снабжены электроприводом. На промыслах находят применение электрические установки по деэмульсации и обессоливанию нефти, работающие на основе воздействия электрического поля на водонефтяные эмульсии, а также установки для электронагрева призабойной зоны нефтяных скважин. На нефтепромысловых компрессорных станциях применяют преимущественно поршневые компрессоры. Поршневые компрессоры имеют вертикальное расположение цилиндров. Частота вращения их приводных валов 365 об/мин, механическое соединение последних с валом электродвигателя осуществляется при помощи клиноременной передачи. Это позволяет применять электродвигатели с большей частотой вращения, чем у вала компрессора. Для привода центробежных газовых компрессоров в настоящее время применяются синхронные двигатели на 6 и 10 кВ, 3000 об/мин, в частности серии СТДП, с бесщеточной системой возбуждения. Синхронные двигатели оборудованы автоматическими регуляторами возбуждения, настроенными на поддержание постоянства напряжения сети, а также следующими видами защит: максимальной токовой от перегрузки, дифференциальной токовой, минимального напряжения, от замыканий на землю, выпадения двигателя из синхронизма,

потери возбуждения, подпитки места короткого замыкания. Двигатели 10 МВт дополнительно защищены от понижения частоты. Промысловые компрессорные станции для закачки газа или воздуха в пласт, где устанавливают до 16 компрессоров, являются весьма энергоемкими потребителями. Они относятся к I категории надежности электроснабжения. Это определяется тем, что даже при кратковременном прекращении их работы и вызванном этим снижении давления рабочего агента в линиях подачи его в скважины нарушается технологический режим работы скважин. Особенно тяжелые последствия имеет перерыв в подаче рабочего агента для скважин, где жидкость содержит значительное количество песка. Для восстановления нормального режима извлечения жидкости на поверхность может потребоваться ремонт скважины и, следовательно, длительный перерыв в ее работе.

Список литературы

1. Гамазин СИ., Ставцев В.А., Цырук С.А. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.
2. Ильинский П.Ф., Козаченко В.Ф. Общин курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
3. Лукьянов Т.П., Егоров Е.П. Техническая эксплуатация электроустановок промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2008.
4. Меньшов Б.Г., Доброжанов В.И., Ершов М.С. Теоретические основы управления энергоснабжением промышленных предприятий. – М.: Изд-во «Нефть и газ», 2007.
5. Меньшов В.Г., Ершов М.С. Надежность электроснабжения газотурбинных компрессорных станций. – М.: Недра, 2005.
6. Меньшов Б.Г., Моисеев С.Г., Призов А.Д. Электрооборудование технологических установок для сооружения и эксплуатации трубопроводов. – М.: Недра, 2005.
7. Меньшов Б.Г., Суд И.И. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 2005.
8. Меньшов Б.Г., Суд И.И. Электротехнические устройства буровых установок. – М.: Высшая школа, 2005.
9. Меньшов Б.Г., Суд И.И., Призов А.Д. Электрооборудование нефтяной промышленности. – М.: Недра, 2005.
10. Михайлов В.В., Жуков Ю.С., Суд И.И. Энергетика нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 2005.
11. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 2001.

12. Моцохейн Б.И. Электротехнические комплексы буровых установок. – М.: Недра, 2005.
13. Новая энергетическая стратегия России. – М.: Атомиздат, 2014.
14. Пирогов Е.В., Зевни М.Б. Монтаж электроустановок во взрывоопасных зонах. – М.: Энергоатомиздат, 2008.
15. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. – М.: Недра, 2010.

УДК 62-52

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДЕ

Р.М. Гиниатуллин¹, Р.Н. Ганиев²

НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск
E-mail: ¹renshiku55555@gmail.com, ²N7007@mail.com

Аннотация. В статье рассматривается система анализа содержания углеводородов в воде. Особенно актуально для республики Татарстан, как для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей республики. Данная система может применяться как в секторе ЖКХ так и в производственном секторе.

Ключевые слова: анализ, контроль, поточная система, качество воды, общий органический углерод, датчики.

Существует не одна причина для анализа воды, в том числе определения в ней общего органического углерода. Некоторые из них приведены ниже. Защите окружающей среды от возрастающего действия химических веществ уделяется все большее внимание во всем мире. Загрязнение окружающей среды является одной из главных проблем. К числу глобальных загрязнений окружающей среды следует отнести загрязнение органическими веществами. Содержание их в поверхностных водах непрерывно возрастает и это вызывает беспокойство у всех, кто имеет дело с проблемой качества воды. Качество питьевой воды, подаваемой централизованными системами водоснабжения, должно соответствовать санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.1.4.1074-01. Актуальность количественного определения нефтяных загрязнений постоянно повышается, поскольку нефть и нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязняющими веществами антропогенного происхождения, присутствующими в воде, почве, донных отложениях. Масштабное загрязнение объектов окружающей среды происходит как нефтепродуктами, так и другими органическими веществами. В их число, кроме нефтепродуктов, входят наиболее распространенные группы веществ, такие как жиры и неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ). В водных объектах органические загрязнители могут присутствовать в различном

состоянии: в растворенном виде, в виде эмульсии или плёнки. Поэтому при рутинном анализе обычно определяют общее содержание каждой из этих групп веществ – нефтепродуктов, жиров и НПАВ [1]. Нефтепродукты являются нормируемым видом загрязнения. В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 для питьевой воды установлено ПДК – 0,10 мг/дм³. ПДК для жиров в воде не установлены, но контроль за их содержанием необходим также как и для нефтепродуктов. Жиры, попадая в поверхностные воды в значительных количествах, существенно ухудшают качество воды, её органолептические свойства, стимулируют развитие микрофлоры. Органические соединения, которые образуются в результате биохимических превращений жиров, оказывают более отрицательное воздействие, чем сами жиры. В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 ПДК НПАВ составляет в воде 0,1 мг/дм³. Токсическое действие НПАВ определяется главным образом неполярной частью молекулы, при этом оно наиболее выражено при наличии в последней ароматического кольца. [3] Отрицательным с гигиенической точки зрения свойством НПАВ является их высокая пенообразующая способность. При концентрациях 5–15 мг/дм³ оказывают существенное воздействие на природоохранные объекты, такие как природные и сточные воды.

Основная задача мониторинга анализируемых проб состоит в обнаружении ожидаемых веществ, подтверждении их идентичности и измерении концентрации. На практике решение этих задач требует применения специального оборудования. К примеру необходимость определения ООУ на химическом производстве. Для охлаждения легких фракций после ректификационной колонны используется трубный теплообменник, в этом случае обратная вода охлаждает углеродосодержащий продукт. Далее обратная вода охлаждается на градирне и так далее по замкнутому циклу. В процессе охлаждения продукта в обратную воду могут попасть частицы углеводородов из-за механических повреждений теплообменника. Так как система охлаждения продукта замкнутая, углеводороды будут накапливаться в системе, что крайне нежелательно, по следующим причинам:

- 1) вода становится взрывоопасной, как правило привода в градирне устанавливаются не взрывозащищенного исполнения [4];
- 2) появляется ил, и система забивается, для отчистки градирню необходимо выводить на ремонт (простой оборудования);
- 3) немаловажным является денежная сторона проблемы, при утечке продукта в обратную воду теряется конечный продукт, из-за этого нефтеперерабатывающая компания несет убытки.

Существующие системы контроля углеводов в воде не удовлетворяют требованиям качества воды. Существуют два основных способа контроля общего и растворенного органического углерода. Они являются лабораторными. Способы описаны в «ГОСТ 31958-2012 Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода». Стандарт распространяется на все типы воды, в том числе питьевую, расфасованную в емкости, и устанавливает методы определения содержания ООУ в диапазоне от 1 до 1000 мг/дм³ с использованием анализаторов углерода, принцип действия которых основан на высокотемпературном каталитическом окислении соединений углерода, находящихся в пробе воды и обеспечивает:

1) раздельное определение содержания углерода и общего неорганического углерода с последующим вычислением содержания общего органического углерода по разности между содержанием общего углерода и содержанием общего неорганического углерода (метод 1);

2) предварительное полное удаление общего неорганического углерода из пробы воды с последующим определением содержания общего органического углерода (метод 2). Метод 2 применяется когда предполагаемое содержание общего неорганического углерода в пробе выше или сопоставимо с содержанием общего органического углерода.

Сущность одного из методов заключается в окислении соединения углерода, находящегося в пробе воды, при температуре от 550 до 1000 °С в присутствии кислорода или кислородосодержащего газа и катализатора до диоксида углерода (IV) и последующем определении общего и неорганического углерода с использованием детектора инфракрасного излучения. Допускается определять содержание общего и неорганического углерода в пробе воды путем восстановления диоксида углерода (IV) до метана с использованием пламенно-ионизационного детектора [5].

Приведенный ранее способ не позволяет определить актуальное значение ООУ в воде. Предлагается поточная система контроля углеводов в воде, основанная на непрерывном анализе воды, принципиально отличающаяся от имевшейся.

Приведенная ниже система (рис. 1) работает следующим образом. Проба поступает через шаровой кран (V1-V4) и фильтр-редуктор с манометром (FR1-FR4) на вход соленоидного 3/2 ходового клапана (KC1-KC4). Затем соленоидный клапан, в зависимости от управляющего сигнала с контроллера БАЗИС-21, работает на слив или на пропускание пробы в измерительную часть схемы.

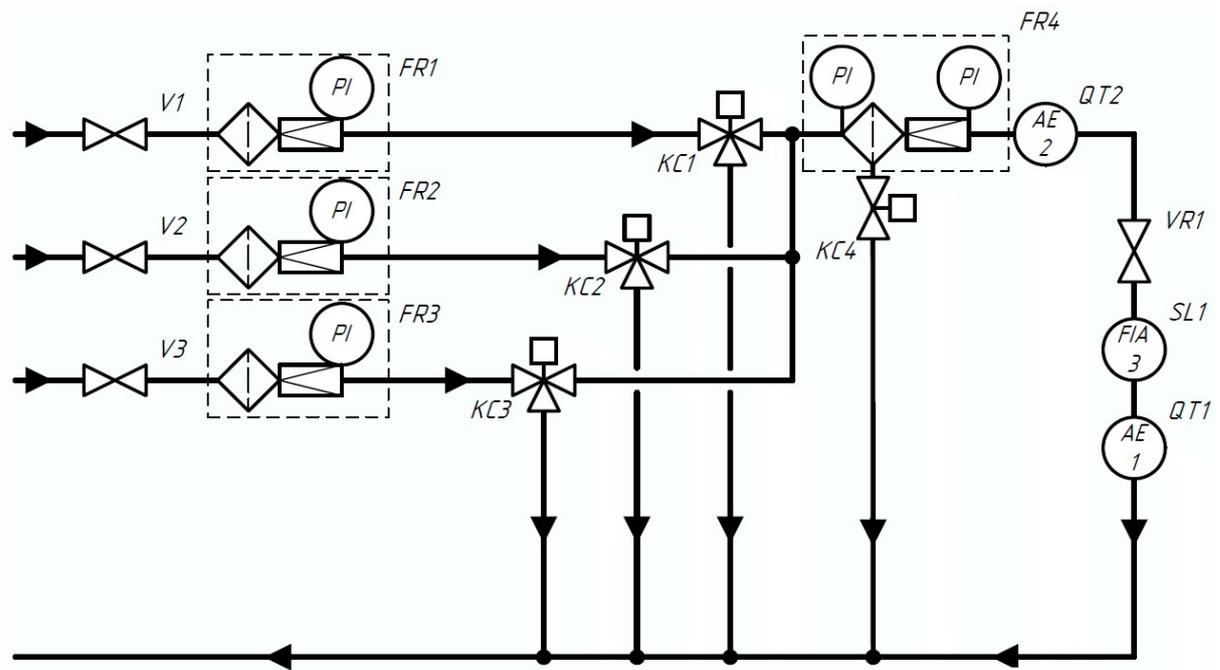


Рис. 1. Функциональная схема системы контроля углеводородов в воде

Предварительная очистка пробы со стабилизированным давлением, поступает на фильтр-редуктор (FR5), где проходит через фильтр тонкой очистки (100 мкм) с последующей точной настройкой давления редуктором. В системе фильтр-редуктора (FR5) предусмотрена обратная промывка. Соленоидный 2/2 ходовой клапан управляемый контроллером БАЗИС-21, в необходимое по программе время открывается, осуществляя промывку фильтра от осевшей на его сетках грязи. Подготовленная проба воды поступает в проточную арматуру для электрода рН, где происходит измерение рН среды. Для контроля наличия расхода в измерительной части схемы был применен ротаметр поплавковый с концевым выключателем, «сухой контакт» которого подключен к входу контроллера БАЗИС-21, позволяя тем самым оперативно реагировать на отсутствие расхода. После ротаметра проба воды поступает в проточную арматуру датчика CAS510, в котором измеряется содержание ООУ в пробе. После всех датчиков проба сливается в общей коллектор, который обеспечен свободным сливом. В состав «ШКУВ» входят: многопараметрический датчик Liquiline CM442 и контроллер БАЗИС-21. Сигнал от датчиков: измерение рН и органической нагрузки поступает на CM442, а с него токовый сигнал передается на вход БАЗИС-21. Выходной токовый сигнал с БАЗИС-21 предназначенный для вывода показаний в сеть выводится на клеммную коробку КК3. С контроллера БАЗИС-21 осуществляется управление соленоидными клапанами, установленными как на потоках, так и на промывке фильтра.

Достоинства:

- 1) процесс автоматизирован;
- 2) показания актуальны;
- 3) удобство (актуальное значение выводится на экране контроллера);
- 4) не требует специальных знаний от персонала в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Василенко Ю.Г., Корилов А.М. Экологический контроль органических загрязнителей (нефтепродуктов, жиров и НПАВ) в водных объектах // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 9.
2. Шилова Н.И., Чудовский А.С. Хроматографический анализ состава полиароматических углеводородов продуктов переработки природных энергоносителей // Молодой ученый. – 2017. – №2.1. – С46–50.
3. Алексеев Л.С., Контроль качества воды // Алексеев Л.С. – Москва: ИНФРА-М, 2009. – С. 8–19.
4. ГОСТ 12.1.010-76 «ССБТ. Взрывобезопасность».
5. ГОСТ 31958-2012 «Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода».

УДК 621.383

МАТРИЧНЫЙ ФОТОПРИЕМНИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТ В ПЕЧАХ

В.Л. Жбанова

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
E-mail: vera-zhbanova@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрен новый шаблон матричного фотоприемника основанный на многослойной структуре полупроводника. Данный тип приемника позволит получить точное отображение цвета, особенно в области красных оттенков. Предлагаемый шаблон разработан для цифровых камер контролирующих процессы сгорания материалов в термокамерах.

Ключевые слова: матрица, ячейка, шаблон цветоделения, полупроводник.

Для контроля работ в печах металлургии и другой промышленности, в частности в химико-биологических процессах для объектов контроля окатышей необходимы регистрирующие устройства с хорошей передачей в области красных оттенков. Основным устройством бесконтактного контроля являются цифровые камеры. На данный момент существует множество матричных фотоприемников позволяющих получить хорошую цвето-передачу, в основном в сине-зеленой области.

Рассмотрим основные разработки в области микроэлектроники, в частности, производства интегральных многоэлементных матричных фотоприемников.

Известен матричный фотоприемник с системой цветоделения, содержащий слоистую кремниевую ячейку, изготовленный на стандартных комплементарных металло-оксидных полупроводниках, с тремя слоями: слой R , слой G и слой B [1]. Ячейки матричного фотоприемника представлены на рис. 1.

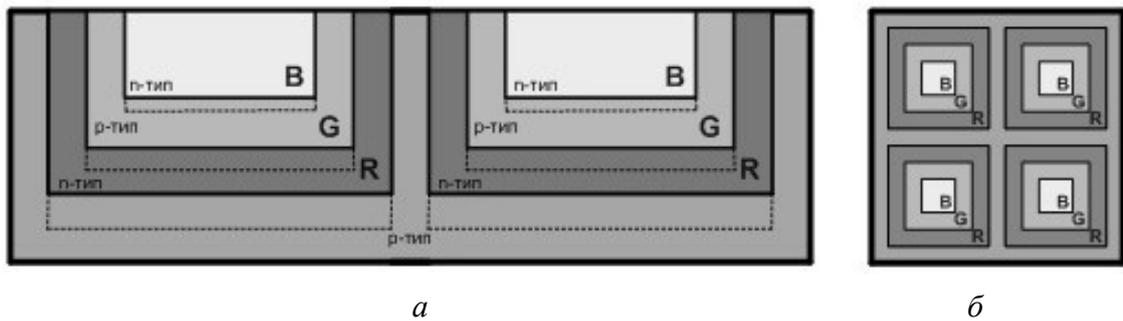


Рис. 1. Ячейки трехслойного матричного фотоприемника: a – разрез; b – вид сверху

Три разделенных p - n перехода залегают на различных глубинах на поверхности кремния и используются для разделения электронно-дырочной пары, которые образуются в результате естественных свойств кремния. Слои расположены друг над другом, чередуясь по типу основных носителей (n -типа и p -типа). Каждый следующий слой образует новую потенциальную яму – в зависимости от слоя, для электронов либо для «дырок». Так одна ячейка содержит подложку, в которой размещен слой полупроводника с потенциальной ямой накапливания зарядов от фонов красного спектра (R), поверх него нанесен слой полупроводника с потенциальной ямой накапливания зарядов от фонов зеленого спектра (G), поверх которого нанесен слой полупроводника с потенциальной ямой накапливания зарядов от фонов синего спектра (B). Толщина и материал слоя выбраны такими, что разделение проникающих фотонов происходит по тем диапазонам спектра, которые содержат основные цвета: слой R толщина слоя 2,0 мкм, слой G толщина 0,6 мкм, слой B 0,2 мкм.

Данное устройство основано на применении физического явления в самом проводнике: с увеличением длины волны глубина проникновения фотонов в полупроводник возрастает. Таким образом, для улавливания фотонов голубого, зеленого и красного цвета, фотодиоды, созданные чередованием зон проводимости первого и второго типа, размещают один под другим на определенных глубинах.

Недостатком данного технического решения является:

- небольшой динамический диапазон, поскольку наложение трех слоев ограничивает размеры потенциальных ям;
- чувствительность матричного фотоприемника уменьшается, так как при распределении фотонов по трем слоям часть их неизбежно будет поглощена при переходе из одного слоя в другой.

Также разработан матричный фотоприемник содержащий подложку p -типа, на которой расположены чередующиеся в шахматном порядке первый и второй виды ячеек [2]. Шаблон Байера представлен на рис. 2.

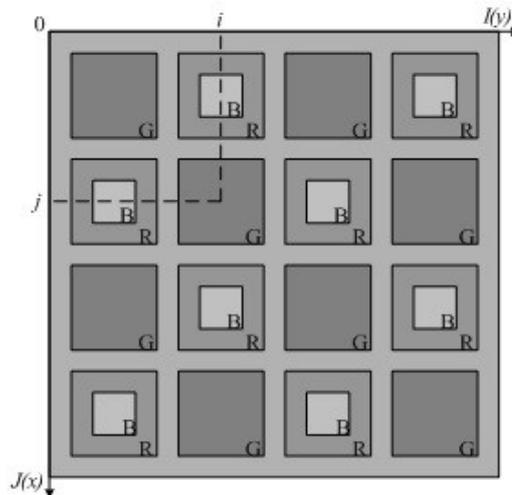


Рис. 2. Ячейки шаблона прототипа

При этом первый вид ячейки выполнен как фотодиод, созданный чередованием зон проводимости первого и второго типа, в виде слоя полупроводника R n -типа расположенного от поверхности подложки на 2,0 мкм и потенциальной ямой для заряда красных оттенков спектра, и находящийся в непосредственном контакте, расположенный над ним слой полупроводника B p -типа расположенный от поверхности подложки на 0,2 мкм и потенциальной ямой для заряда синих оттенков спектра. Второй вид ячейки выполнен как фотодиод, созданный чередованием зон проводимости первого и второго типа, в виде слоя полупроводника G n -типа, расположенного от поверхности подложки на 0,6 мкм и потенциальной ямой для заряда зеленых оттенков спектра, расположенный в подложке p -типа и находящийся с ним в непосредственном контакте. Каждый слой образует новую потенциальную яму (для электронов или для «дырок»).

Недостатком настоящего технического решения является низкая функция передачи модуляции при интерполяции всех цветов на 50%, и как результат низкая пространственно-частотная характеристика матричного фотоприемника.

Ввиду вышеизложенного нами разработана матрица с улучшенной функцией передачи модуляции матричного фотоприемника при интерполяции цвета в области красных оттенков до 100%, т.е. с улучшенной пространственно-частотной характеристикой матричного фотоприемника по красному каналу.

На рис. 3 и 4 представлены ячейки предлагаемого матричного фотоприемника: вид в разрезе и вид сверху, соответственно.

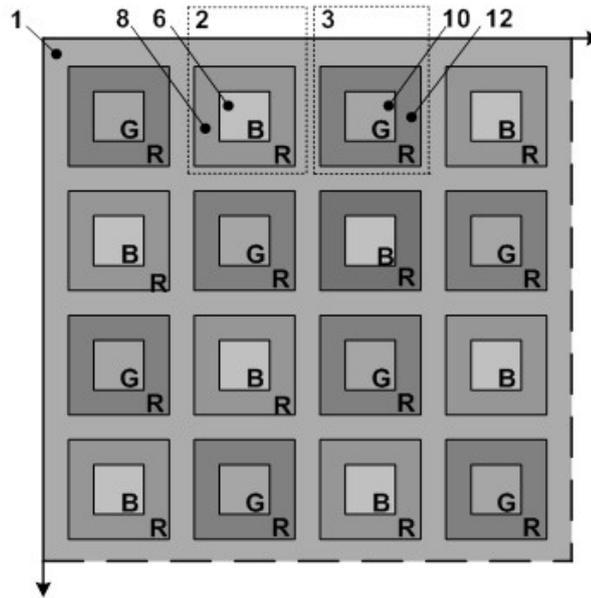


Рис. 3. Ячейки предлагаемого шаблона матричного фотоприемника (вид сверху)

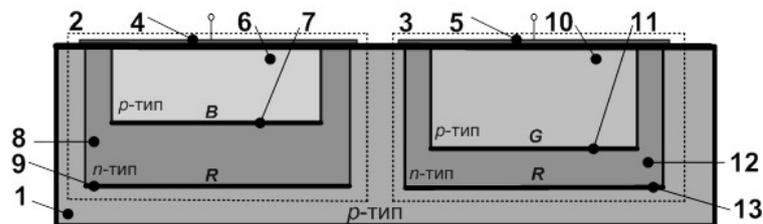


Рис. 4. Ячейки предлагаемого матричного фотоприемника (вид в разрезе)

Матричный фотоприемник содержит подложку p -типа 1, на которой расположена группа ячеек, выполненная в виде первой 2 и второй 3 ячеек, чередующихся между собой, в шахматном порядке. На поверхности первой ячейки 2 расположен первый электрод 4, на поверхности второй ячейки 3 расположен второй электрод 5. При этом первая ячейка 2 содержит две зоны проводимости, а именно слой B p -типа 6 расположенный от поверхности подложки от 0,15 до 0,3 мкм с потенциальной ямой для заряда синих оттенков спектра 7, он находится в непосредственном контакте с слоем R n -типа 8 расположенный от поверхности подложки от 1,7 до 2,5 мкм с потенциальной ямой для заряда красных оттенков спектра 9, который в свою очередь находится в непосредственном контакте с подложкой p -типа 1.

Вторая ячейка 3 содержит две зоны проводимости, а именно слой G p -типа 10 расположенный от поверхности подложки от 0,55 до 0,7 мкм с потенциальной ямой для заряда зеленых оттенков спектра 11, он находится в непосредственном контакте с слоем R n -типа 12 расположенный от поверхности подложки от 1,7 до 2,5 мкм с потенциальной ямой для заряда красных оттенков спектра 13, который в свою очередь находится в непосредственном контакте с подложкой p -типа 1.

К каждому слою (и к подложке) подведен отдельный металлический контакт по стандартной технологии, с помощью которого можно выводить соответствующий фотосигнал. При этом первая 2 и вторая 3 ячейки маскированы оксидом кремния по стандартной технологии. Обе ячейки выполнены на основе слоистого кремния. Электрод выполнен из поликристаллического кремния прозрачного для фотонов толщиной 0,2 мкм. Размер площади ячеек выбран от 6 мкм до 20 мкм в зависимости от требуемого динамического диапазона и разрешающей способности матричного фотоприемника. Толщины полупроводниковых областей выбираются из соображений выделения трех отдельных спектральных диапазонов длин волн оптического излучения и исходя из стандартной характеристики поглощения света в кремнии в зависимости от глубины и длины волны.

Матричный фотоприемник работает следующим образом. Свет падает на устройство, проходя через каждую ячейку. В первой ячейке 2 свет проходит через прозрачный первый электрод 4, подавляющий ультрафиолетовую часть падающего излучения, затем фотоны синего спектра преобразуются в заряд в слое B 6 и накапливаются в потенциальной яме для заряда синих оттенков спектра 7, фотоны красного спектра преобразуются в заряд в слое R 8, затем накапливаются в потенциальной яме для заряда красных оттенков спектра 9. Во второй ячейке 3 свет проходит через прозрачный второй электрод 5, подавляющий ультрафиолетовую часть падающего излучения, затем фотоны зеленого спектра преобразуются в заряд в слое G 10 и накапливаются в потенциальной яме для заряда зеленых оттенков спектра 11, фотоны красного спектра преобразуются в заряд в слое R 12, затем накапливаются в потенциальной яме для заряда красных оттенков спектра 13. Далее в матричном фотоприемнике происходит считывание заряда как в стандартной полнокадровой матрице.

При генерации цветного изображения любое техническое устройство применяет цветовой синтез, то есть процесс, при котором смешиваются несколько монохромных сигналов, описывающих изображение в цифровой

либо аналоговой форме. Цвет каждого из монохромных сигналов называется основным, так как совокупность сигналов различной интенсивности позволяет воссоздать любой оттенок из всего множества цветов, воспроизводимых посредством синтеза. Рассмотрим кривые функции передачи модуляции при интерполяции цвета предлагаемого шаблона матричного фотоприемника, показанные на рис. 5, *а*. На рис. 5, *б* показаны кривые функции передачи модуляции при интерполяции цвета матричного фотоприемника прототипа.

Благодаря размещению слоя *R 12* во второй ячейке *3* с слоем *G 10*, при интерполяции красного цвета *R* функция передачи модуляции матричного фотоприемника повышается на 50% (в два раза), т.е. улучшается оптическая передаточная характеристика всего матричного фотоприемника. Таким образом, в предлагаемом матричном фотоприемнике при интерполяции красного цвета *R* функция передачи модуляции матричного фотоприемника равна единице и постоянна, в отличие от функции передачи модуляции матричного фотоприемника при интерполяции цветов по шаблону Байера, где происходит ухудшение характеристик всех цветов.

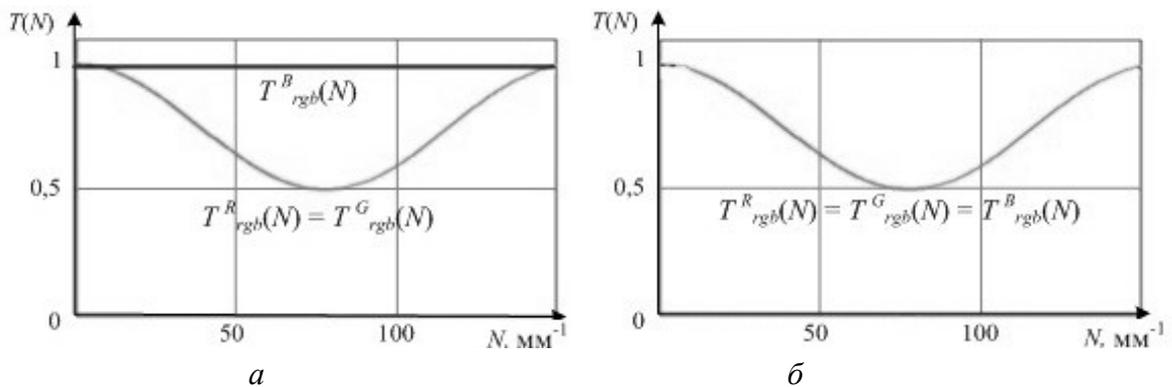


Рис. 5. Кривые функции передачи модуляции при интерполяции цвета:

а – предлагаемого матричного фотоприемника;

б – матричного фотоприемника прототипа

В настоящей работе получены следующие результаты:

1) благодаря введению второй ячейки с совмещением слоев *R* и *G* в матричном фотоприемнике до 100% улучшается захват красных оттенков и улучшается оптическая передаточная характеристика матричного фотоприемника, что позволит применять не только в печах металлургии и другой промышленности, но и в медицине: к примеру, в эндоскопах для адекватной передачи изображения тканей внутренних органов;

2) функции передачи модуляции интерполяции цвета описывают пространственно-частотные свойства только как одного из оптических

передаточных звеньев, влияющих на разрешающую способность цифровой системы. Поэтому качественно судить об интерполяции данных модификаций возможно только после исследований опытного образца;

3) на основе исследований получен патент на полезную модель «Матричный фотоприемник» [3].

Список литературы

1. U.S. Patent 5965875 A. Merrill R.B. Color separation in an active pixel pit imaging array using a triple-well structure. Oct. 12, 1999.

2. Жбанова В.Л., Парвулюсов Ю.Б. Моделирование хода лучей в матричном фотоприемнике с многослойной структурой // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. – № 4. – С. 108–113.

3. Решение о выдаче патента на полезную модель от 28.09.2017 по заявке № 2017123735/28(041179) от 05.07.2017.

УДК 662.99

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОПОТЕРЬ МАТЕРИАЛОВ

О.Р. Ключников¹, М.В. Астраханов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹olegkgeu@yandex.ru, ²basay55555@yandex.ru.

Аннотация. Разработана установка и методика измерения плотности тепловых потоков. Проведены измерения конвективных и радиационных тепловых потерь материалов.

Ключевые слова: измерения, исследуемые материалы, теплопроводность, радиационные тепловые потери.

В настоящее время актуальной является тема уменьшения тепловых потерь. Важной задачей является снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, в частности, оконных проемов. При эксплуатации систем теплоснабжения часть переданной от источника потребителю тепловой энергии теряется через тепловую изоляцию трубопроводов. Анализ тепловых потерь является важным аспектом при выборе теплоизоляционных материалов. На сегодняшний день ведутся много работ по уменьшению тепловых потерь через теплопроводы.

Цель работы: определение тепловых потерь через образцы материалов с дальнейшим вычислением доли лучистых составляющих тепловых потерь.

Как известно тепловые потери делятся на конвективные и радиационные составляющие. Необходимо установить доли лучистых составляющих тепловых потерь образцов материалов. Измерения проводились на установке,

показанной на рисунке 1. Источником теплового излучения является лампа накаливания мощностью 40 Вт, помещенный в металлическую коробку. Лучистые составляющие теплотерь измеряются неселективным радиометром Аргус-03.

Методика проведения экспериментов заключается в следующем.

На образец материала крепятся датчики температуры и регистрации тепловых потоков прибора ИТП-МГ4.03/Х(II). Далее материал крепится на одной из сторон данной металлической коробки и включается источник теплоты. В течение 50 минут температура внутри коробки повышается до установления постоянного значения. Данные датчиков регистрируются в течение 60 минут. Для измерения лучистых составляющих теплотерь включается радиометр «Аргус-03» и выдерживается в течение 3-5 минут до приобретения датчика температуры окружающей среды, измеряется фоновое излучение окружающей среды по показаниям «Аргус-03», далее убирается теплоизолирующая ширма и через 3 секунды записывается показание радиометра, измерения проводятся 5 раз. По окончании измерений ширма устанавливается перед датчиком радиометра.

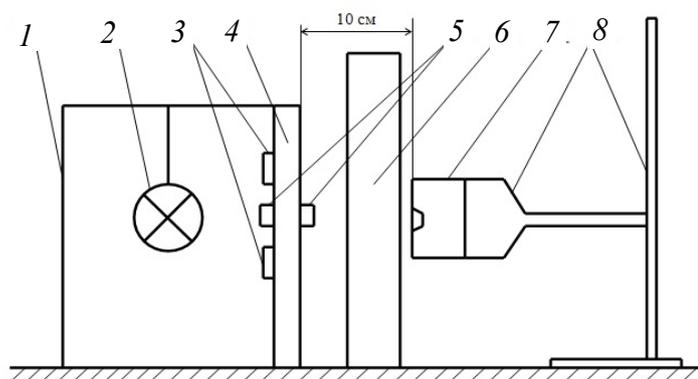


Рис. 1. Схема лабораторной установки для измерения плотности тепловых потоков: 1 – металлическая коробка; 2 – лампа накаливания; 3 – датчики плотности теплового потока прибора «ИТП – МГ4.03»; 4 – исследуемый материал; 5 – датчики температуры; 6 – теплоизолирующая ширма; 7 – датчик радиометра «Аргус-03»; 8 – штатив

Результаты измерений представлены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований

Название образца материала	Теплотери, Вт/м ²		Доля лучистых теплотерь, %
	конвективные	радиационные	
Металлический лист со СКЭПТ+AL	693,4	92,2	13,3
Лист гипсокартона с фольгой	456,2	78,6	17,2
Металлический лист с гипсом	560,3	88,0	15,7
Однокамерный мультифункциональный стеклопакет с ИК-отражающим покрытием (2 стекла)	659,8	149,4	22,6

Название образца материала	Теплопотери, Вт/м ²		Доля лучистых теплопотерь, %
	конвективные	радиационные	
Однокамерный стеклопакет (2 стекла)	685,6	427,0	62,3
Фольгоизол (производитель 1)	353,4	132,2	37,4
Фольгоизол (производитель 2)	512,6	70,0	13,6
Двухкамерный multifunctional-ный стеклопакет с ИК-отражающим покрытием (3 стекла)	678,8	160,2	23,6
Двухкамерный стеклопакет (3 стекла)	664,7	369,1	55,5
Сотовый поликарбонат толщиной 8 мм	555,8	485,3	87,3
Сотовый поликарбонат толщиной 20 мм	433,4	326,7	75,4

Таким образом, по результатам измерений можно установить, что коэффициент лучистых теплопотерь в зависимости от испытуемых материалов колеблется от 13,3 до 87,3 %. Как показывают результаты, стеклопакеты с ИК-отражающим покрытием значительно энергоэффективнее стандартных. А сотовые поликарбонаты обладают сравнительно большими лучистыми составляющими теплопотерь, в отличие от других испытуемых материалов. Следовательно, для уменьшения тепловых потерь необходимо использовать в качестве одного из слоев утеплителя ИК-отражающий материал или покрытие.

Список литературы

1. Хижняков С.В. Тепловая изоляция. – М.: Энергия, 1985. – 421 с.
2. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1989. – 399 с.
3. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Ковылянский Я.А. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей. Современные материалы и технические решения // Энергосбережение, 2002. – № 5. – С. 43–45.
4. Теплоизоляционные материалы и конструкции / Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б. М.Шойхет, Е.Ю. Петухова. – М.: Издательство Инфра-М, 2010. – 154 с.
5. Арутюнян А.А. Основы энергосбережения. – М.: Энергосервис, 2007. – 600 с.

УДК 621

ДАТЧИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

О.В. Козелков, В.С. Терешин¹

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹tereshinviktorsergeevich@mail.ru

Аннотация. Датчики технологических параметров, используемые в станциях ГТИ, являются одной из самых важных составных частей станции. От точности показаний и надежности работы датчиков во многом зависит эффективность службы ГТИ при решении задач по контролю и оперативному управлению процессом бурения. Однако из-за тяжелых условий эксплуатации (широкий диапазон температур от –50 до +50 °С, агрессивная среда, сильные вибрации и т.д.) датчики остаются самым слабым и ненадежным звеном в составе технических средств ГТИ.

Ключевые слова: агрессивная среда, широкий диапазон, высокоинтегрированных, решении задач, составных частей станции.

Применяемые в производственных партиях ГТИ датчики в большинстве своем были разработаны в начале 90-х годов с использованием отечественной элементной базы и первичных измерительных элементов отечественного производства. Причем из-за отсутствия выбора использовались общедоступные первичные преобразователи, которые не всегда отвечали жестким требованиям работы в условиях буровой. Этим и объясняется недостаточно высокая надежность применяемых датчиков. Принципы измерения датчиков и их конструктивные решения выбраны применительно к отечественным буровым установкам старого образца, и поэтому на современные буровые установки и тем более на буровые установки иностранного производства их монтаж затруднителен. Из вышесказанного следует, что разработка нового поколения датчиков чрезвычайно актуальна и своевременна. При разработке датчиков ГТИ одним из требований является их адаптация ко всем существующим на российском рынке буровым установкам. Наличие широкого выбора первичных преобразователей высокой точности и высокоинтегрированных малогабаритных микропроцессоров позволяет разработать высокоточные, программируемые датчики с большими функциональными возможностями. Датчики имеют однополярное напряжение питания и одновременно цифровой и аналоговый выходы. Калибровка и настройка датчиков производятся программно из компьютера со станции, предусмотрены возможность программной компенсации температурной погрешности и линеаризация характеристик датчиков. Цифровая часть электронной платы для всех типов датчиков однотипная и отличается только настройкой внутренней программы, что делает ее унифицированной и взаимозаменяемой при ремонтных работах. Внешний вид датчиков приведен на рис. 2.



Рис. 2. Датчики технологических параметров

Список литературы

1. Системы управления электроприводов: учебно-методическое пособие / О.В. Погодицкий, О.В. Козелков, О.В. Цветкова, Н.А. Малёв; под ред. О.В. Погодицкого. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 116с.

УДК 621.311

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА АНАЛИЗАТОРА ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

Б.Э. Кубанго¹, Р.С. Кашаев²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹bemk10@mail.ru, ²kashaev2007@yandex.ru

Аннотация. В работе описана система автоматического управления проточного анализатора Ядерного Магнитного Резонанса (ЯМР) второго поколения с помощью программатора STK500, при прошивке программа на языке ассемблер в контроллера ATmega8515.

Ключевые слова: автоматизированная, управление, электропривод, контроллер, программирование, ЯМР.

Введение

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений актуальна задача разработки автоматизированной системы управления и электропитания электроприводов технологических процессов нефтедобычи, повышения нефтеотдачи и подготовки нефти. Технологии нефтедобычи и подготовки скважинной жидкости (СКЖ) требуют систем автоматического управления (САУ), основанных на проточном экспресс-контроле количества и качества продукции скважин по ГОСТ 8.615-2002005 ГСИ [1–4].

Цель работы – разработка системы управления ЯМР-анализатора второго поколения (ЯМРА II).

Проточный анализатор второго поколения ЯМРА II

В 2008 г. нами получен патент № 74710 на ЯМРА II [5]. На рис. 1 представлена система пробоотбора анализатора, на рис. 2 – электрическая принципиальная схема электропривода пробоотборника, позволяющая устанавливать патрубок на требуемом уровне в трубопроводе при отборе для анализа скважинной жидкости [6].

С целью повышения диапазона измерения расхода и представительности пробоотбора в основу конструкции новой системы заложено устройство, отличающееся тем, что измерительная часть трубы (встраиваемая в магистральный трубопровод), имеет коническое расширение, а пробоотбор в датчик релаксометра ЯМР осуществляется патрубком с возможностью перемещения по сечению конуса [6].

Для автоматизированного управления электроприводом пробоотборного патрубка ЯМРА II (рис. 3) использовался комплект микропроцессорного управления от микроконтроллера ATmega8515L, а для его разработки – отладочный набор и система проектирования STK500 для AVR флэш-контроллеров фирмы Atmel (рис. 4) на панели с маркировкой SCKT3000D3.

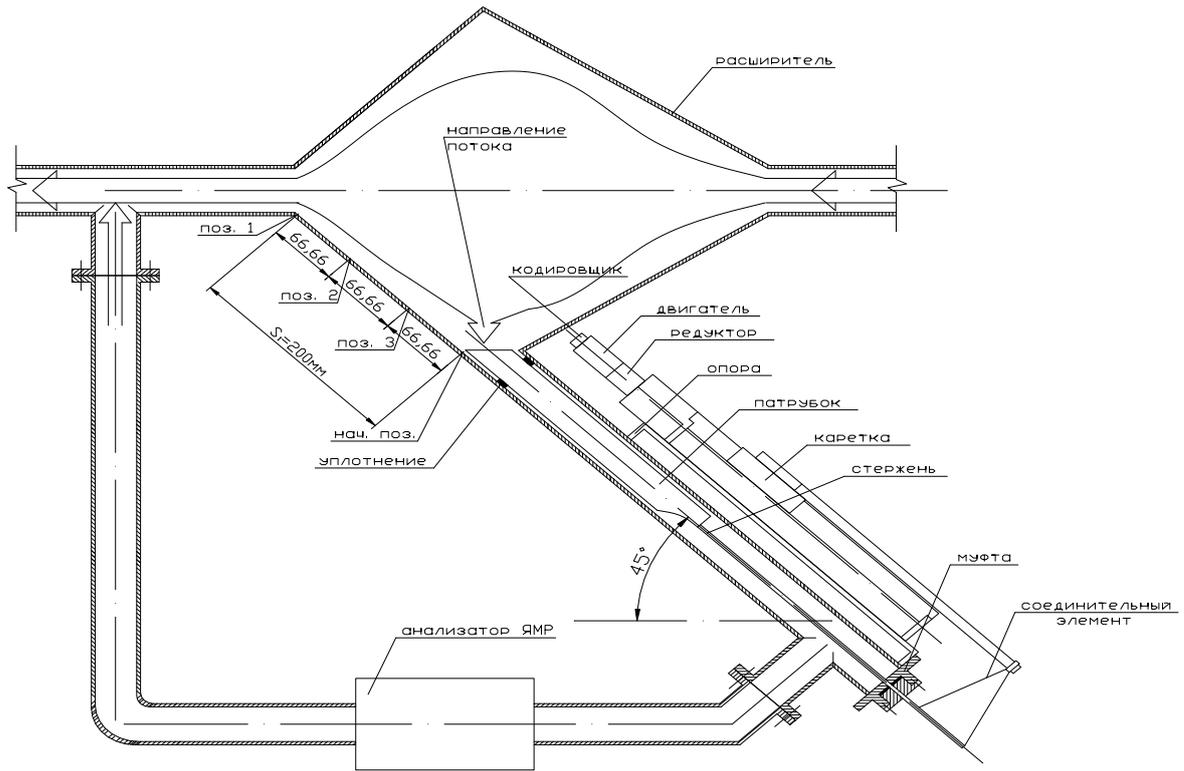


Рис. 1. Система пробоотбора ЯМР-анализатора

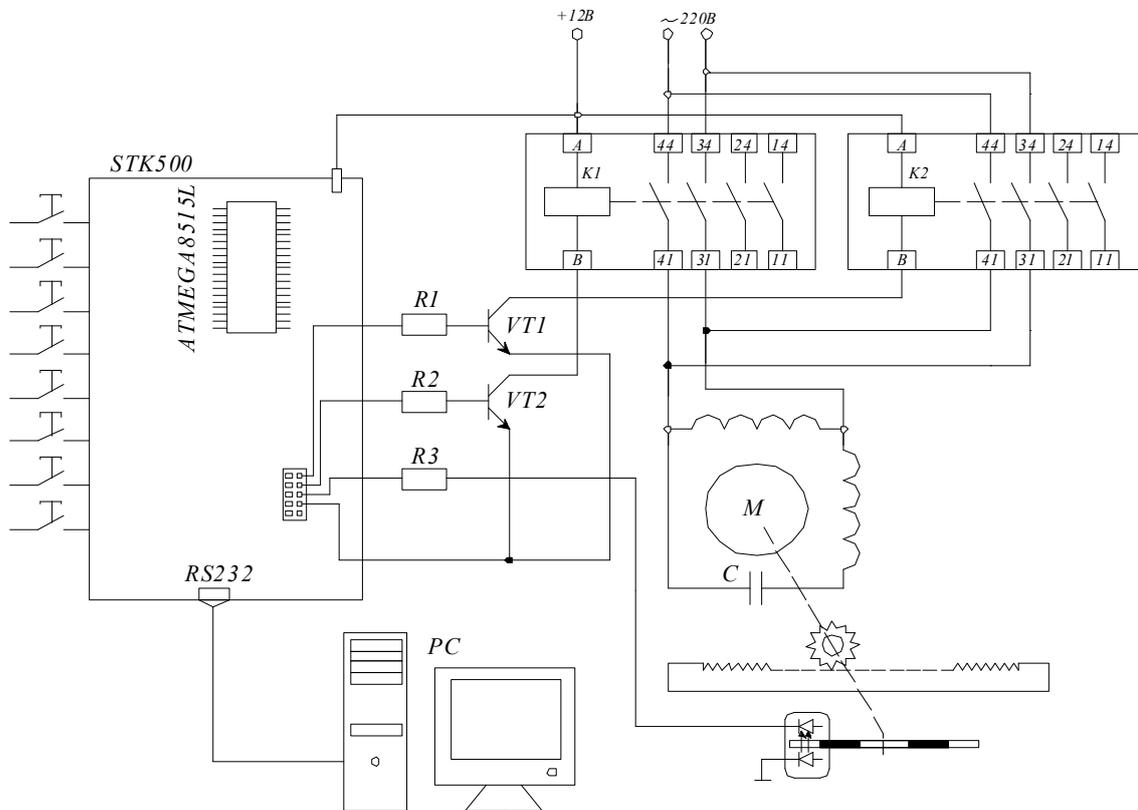


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема электропривода патрубка ЯМРА II



Рис. 3. Стенд анализатора второго поколения ЯМРА II

Для программирование контроллера, осуществляется связь с компьютером по СОМ-порту, который может использоваться для управления технологическим процессом, осуществлять местное управление.

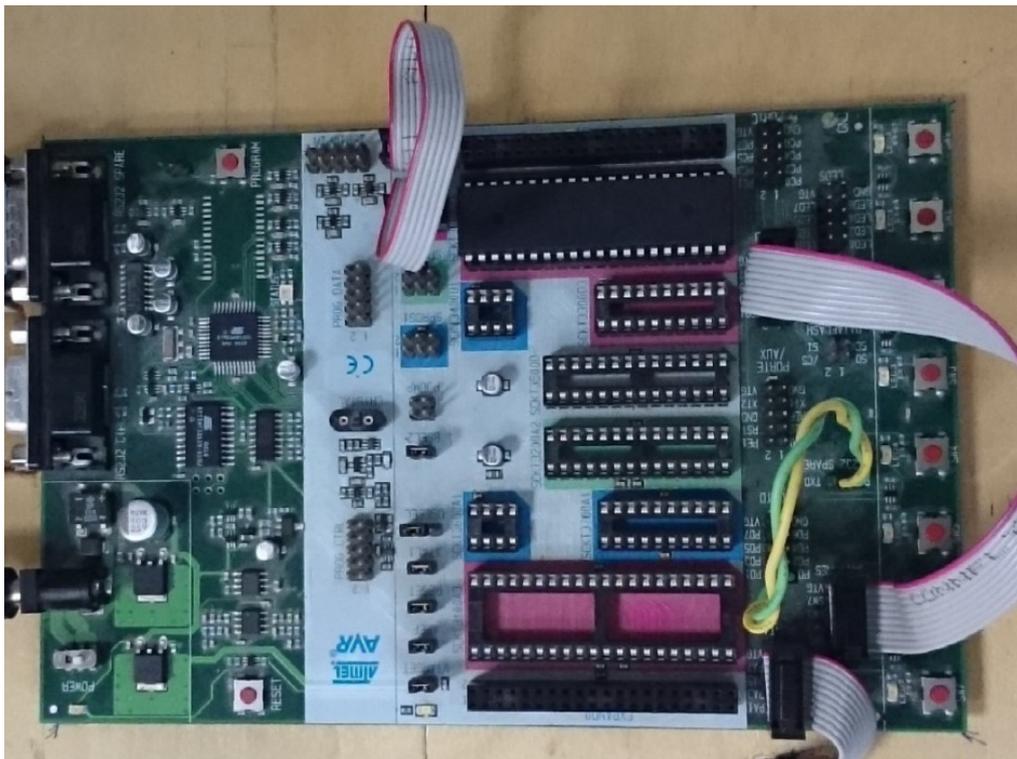


Рис. 4. Плата STK500

На силовой плате (рис. 5) имеются два трехштырьковых разъема, предназначенных для подключения оптических датчиков крайнего положения патрубка. В ИК – датчиках отражательного типа излучатель и фотоприемник (простой или составной фототранзистор) жестко закреплены в корпусе, и их оптические оси пересекаются под определенным углом вне

корпуса. Когда детектируемый объект находится в области пересечения оптических осей излучателя и приемника, отраженный от него сигнал излучателя в точке приема максимален. Это приводит к резкому увеличению выходного тока фототранзистора, который в свою очередь подается на выводы МК.

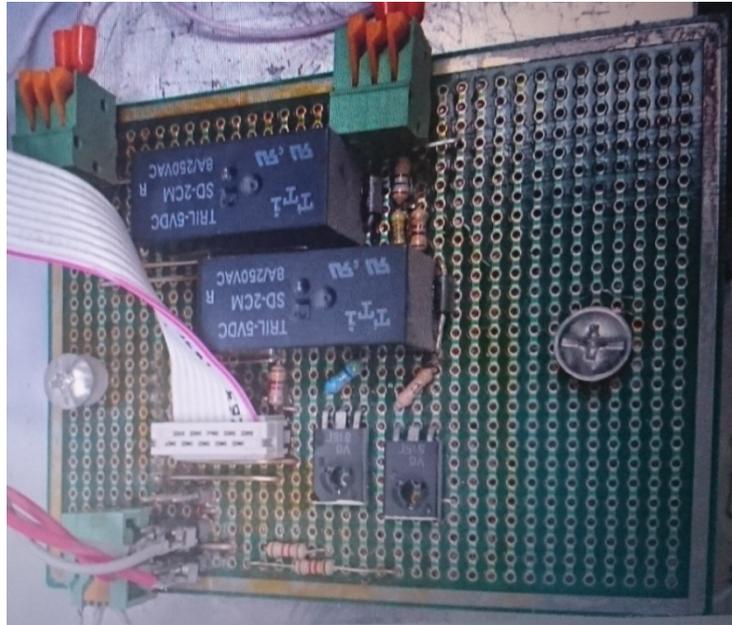


Рис. 5. Силовая сборка с подключением десятипроводного шнура к реле

АТmega8515 обеспечивает производительность 1 MOPS за счет выполнения большинства инструкций за один машинный цикл и позволяет оптимизировать потребление энергии за счет изменения частоты синхронизации. Ядро AVR объединяет большой набор инструкций с 32 рабочими регистрами общего назначения. Все 32 регистра непосредственно подключены к АЛУ (арифметико-логическое устройство), что позволяет указывать два регистра в одной инструкции и выполнить ее за один цикл. Данная архитектура обладает большей эффективностью кода и в 10 раз большей производительностью по сравнению с CISC микроконтроллерами. Она поддерживается набором инструментальных и программных средств для разработки приложений, в том числе: Си-компиляторы, макроассемблеры, отладчики / симуляторы, внутрисхемные эмуляторы, оценочные наборы.

Для работы STK500 требуется внешний источник питания 10–15 В. После выполнения всех соединений к преобразователю напряжения DR-4515 подключается 220 В. Свечение красного светодиода сигнализирует о подаче питания, а состояние статусного светодиода будет изменяться от красного к желтому, а затем к зеленому. Зеленый цвет светодиода сигнализирует о наличии напряжения V_{CC} (питание микроконтроллера).

Программа на языке ассемблера в ATmega8515L начинает выполнять следующие операции: инициализацию микроконтроллера; инициализация портов *A* и *B*; таймера / счетчика 1, универсального синхронно/асинхронного приемопередатчика (USART); переход в подпрограмму сравнения принятого кода запуска.

МК принимает команду и выдает напряжение в 5 В соответствующая уровню логической единицы в четвертый разряд порта *A*, который в свою очередь открывает транзистор и подает напряжение на катушку реле – привод приходит в движение. После выдачи сигнала «Вперед» контроллер выполняет задержку чуть больше времени включения и выполняет опрос пятого разряда (при движении назад выполняет опрос третьего разряда) порта *A*, соединенного со вторыми блок-контактами реле.

При нажатии на кнопку SW4 на плате STK500 патрубка перемещается в период. А при нажатии кнопку SW6 патрубка перемещается назад.

Выводы

1. Программирование контроллера, позволяет диверсифицировать способы управления магнитного резонанса анализатора второго поколения.

2. Способы, устройства и модель измерения физико-химических параметров скважинной жидкости с помощью проточных ЯМР-анализаторов по нашим патентам обладают следующими преимуществами:

- магистральная труба может быть любого диаметра, т.е. верхний диапазон измерений расхода практически неограничен, а нижний соответствует $Q = 0$;

- подача пробы в датчик ЯМР-анализатора производится перепадом давлений, регулируемых положением патрубка в расширителе, при этом не требуются насосы и задвижки, можно «остановить» поток в датчике ЯМР;

- расход в трубе осуществляется предварительным определением влажности W , выбора из базы данных ЭВМ зависимости скорости релаксации от потока, соответствующей данной W , измерением эффективного времени релаксации, которые могут быть измерены с большей точностью, чем фаза и амплитуда сигнала и определения скорости потока по скорости релаксации.

Список литературы

1. ГОСТ Р 8.575-2004 Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений.

2. ГОСТ Р 51858-2002 Нефть. Общие технические условия.

3. Рекомендации по определению массы нефти при учетных операциях с применением систем измерений количества и показателей качества нефти (Приказ Минэнерго № 69 от 31.03.2005).

4. ГОСТ Р 8.615-2005 ГСИ. Измерения количества извлекаемой из недр нефти и нефтяного газа. Общие метрологические и технические требования.

5. Патент РФ №74710 от 10.07.2008 г. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом ЯМР авторов Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш., Даутов И.Р.

6. Кашаев Р.С., Кубанго Б.Э. Проточные ПМР-анализаторы для контроля скважинной жидкости (монография). Изд. Юком. ISBN 978-5-4480-0076-8, DOI:1017117/ mon 2016.11. UPL: Ucom.ru/mon.

УДК 621.34

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Б.В. Кузнецов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: kuznetsov_b@rambler.ru

Аннотация. Приведены основные проблемы, сопровождающие разработку требований к ремонтнопригодности средств контроля и диагностики на ранних стадиях их внедрения или разработки с позиций системного подхода.

Ключевые слова: средства контроля и диагностики, объект, ремонтнопригодность, техническое задание, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, коэффициент технического использования, техническое обслуживание, ремонт.

Ремонтнопригодность причинно связана с отказами в средствах контроля и диагностики (далее – объект), устраняемыми в процессе восстановительного ремонта или предупреждаемыми в процессе профилактических мероприятий. Ремонтнопригодность характеризуется временем пребывания объекта в состоянии восстановительного ремонта t_e , а также материальными и трудовыми затратами на предупреждение, обнаружение и устранение отказов. Связь ремонтнопригодности с функционированием объекта удобно проиллюстрировать известной формулой для вероятности успешного выполнения задач в соответствии с назначением за заданное время t_3 (аналогично коэффициенту оперативной готовности) объектом многократного применения (или объектом разового применения, находящимся перед этим на хранении и (или) транспортировании):

$$P(t_3) = K_r \{P(t_p) + [1 - P(t_p)]P_v(t_{рез})\}, \quad (1)$$

где $K_r = T_0 / (T_0 + \tau)$, здесь T_0 – средняя наработка на отказ и τ – среднее время восстановления; $P(t_p)$ – вероятность безотказной работы (ВБР) за время t_p непосредственного выполнения заданных функций; $P_B(t_{рез})$ – вероятность восстановления за резервное время; $t_{рез} = t_3 - t_p$.

Таким образом, оперативная сторона ремонтпригодности характеризуется средним временем T_B , которое необходимо для проведения различных видов технического обслуживания, выявления и устранения отказов в процессе эксплуатации, т. е. проведения текущих ремонтов.

Экономическая сторона ремонтпригодности характеризуется величиной трудовых и материальных затрат, связанных с поддержанием и восстановлением работоспособности объектов при эксплуатации и ремонте.

Задаче обоснования требований предшествует процедура выбора нормируемых показателей. Представляется целесообразным дать классификацию объектов с точки зрения выбора показателей их ремонтпригодности.

Наиболее распространена ситуация, когда все объекты разделены на следующие три группы:

1. В соответствии с техническим заданием (ТЗ) требуется обеспечить непрерывное функционирование объекта в течение времени t , причем перерывы в работе в этот период недопустимы.

2. Техническим заданием предусматривается циклическое использование объекта, причем перерыв в работе не может быть больше некоторого наперед заданного времени t_3 . Очевидно, сюда же можно отнести и объекты, к которым предъявляются высокие требования к их готовности, но у которых периоды сравнительно кратковременной работы чередуются с достаточно длительными периодами ожидания применения.

3. Техническим заданием предусматривается непрерывная работа объектов, однако во время появления отказа в процессе эксплуатации допускается их восстановление без замены их резервными.

Очевидно, что требуемый уровень надежности объектов первой группы в межпрофилактический период обеспечивается их безотказностью. Следовательно, оперативными показателями таких объектов будут показатели эксплуатационной технологичности: вероятность технического обслуживания за заданное время $P_{ТО}(t_3)$. Соответственно экономическими показателями ремонтпригодности будут затраты труда и средств на техническое обслуживание и ремонты, обусловленные возникновением отказов.

Для объектов второй группы оперативными показателями ремонтпригодности, помимо коэффициентов готовности K_r и технического использования $K_{Т.и}$, могут быть среднее время восстановления τ , среднее время технического обслуживания $T_{ТО}$, а также вероятности проведения технического обслуживания и ремонтов $P_{ТО}(t_3)$ и $P_B(t_3)$.

Для образцов третьей группы определяющим фактором является эффективность их использования, т. е. возможность их использования с минимальными затратами на эксплуатацию при заданной долговечности. Для этой группы объектов на первый план выступают экономические показатели ремонтпригодности.

В зависимости от характера выполняемых объектами задач и режимов их работы в качестве экономических показателей могут быть использованы суммарные затраты средств и труда на устранение отказов, техническое обслуживание и ремонты или только отдельные виды этих затрат.

В качестве примера рассмотрим образец, принадлежащий второй группе. Одной из основных характеристик таких объектов будет вероятность нормального функционирования, определяемая зависимостью (1). В этом случае вероятность выполнения задачи восстанавливаемым объектом будет определяться вероятностью его нахождения в работоспособном состоянии к началу работы и безотказного функционирования за время выполнения заданных функций. Из анализа формулы (1) следует, что при проектировании может возникнуть необходимость решения двух задач:

- 1) определить время, которое нужно предусмотреть на восстановление работоспособности объекта, при заданных значениях среднего времени восстановления, вероятности нормального функционирования и ВБР;
- 2) определить среднее время восстановления объекта, обеспечивающее выполнение задачи при установленных значениях ВБР и вероятности выполнения задачи.

Для простоты обычно полагают, что распределение наработки на отказ – экспоненциальное. Результаты решения указанных задач могут быть представлены графически.

УДК 681.518.3: 621.3.049.76

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ АНАЛИЗА КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ПАМЯТЬЮ

И.В. Ломакин¹, Р.Ф. Латыпов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹lomakin_igor@mail.ru

Аннотация. В работе выполнен анализ задач решаемых стендом, построен алгоритм его работы в многотактном режиме и обоснована структура лабораторного стенда по анализу конечных автоматов с памятью.

Ключевые слова: схемотехника, электротехника, конечный автомат, дискретное устройство, логический элемент, элемент памяти, лабораторный стенд.

Ранее были предложены алгоритм [1] и структура [2, 3] лабораторного стенда для анализа комбинационных устройств систем контроля. Сделаны попытки реализации стенда [4, 5].

Однако подготовка специалистов, способных грамотно эксплуатировать сложную технику с дискретным управлением, предполагает развитие у них практических навыков по анализу и синтезу не только одноктактных, но и многотактных дискретных устройств автоматизированных систем контроля и диагностики. Поэтому объектом исследования в данной работе является стенд для анализа многотактных конечных автоматов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения наглядности процесса логического анализа за счет использования стенда.

Целью работы является разработка стенда для анализа многотактных конечных автоматов, позволяющего практически проверять логику работы разработанных схемных решений.

Для достижения поставленной цели выполнен анализ задач решаемых лабораторным стендом.

Элементный анализ этих схем предлагаемых для анализа многотактных устройств показывает, что эти устройства имеют не менее двух входных, трех промежуточных и одного выходного элементов. Кроме этого в рассматриваемых конечных автоматах имеется от трех до пяти диодов.

На практических занятиях по синтезу многотактных конечных автоматов предлагается синтезировать схему дискретного устройства на релейных элементах, обеспечивающего формирование выходного сигнала при поступлении входных сигналов в заданных последовательностях, некоторые из которых показаны на рис. 1.

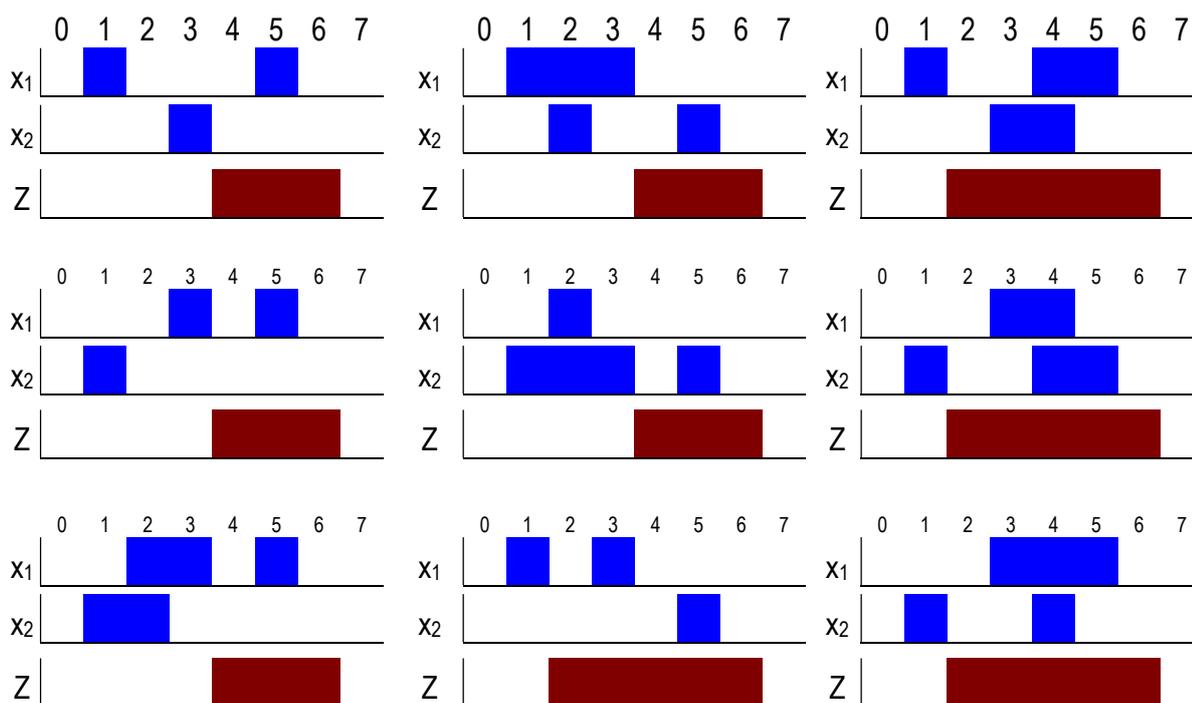


Рис. 1. Заданные последовательности входных и выходных сигналов

Решение задач синтеза показывает, что эти последовательности сигналов могут быть реализованы устройствами с одним выходным, двумя входными и двумя-тремя промежуточными элементами. Кроме этого, для упрощения схем могут использоваться диоды.

Так как лабораторная установка должна обеспечивать анализ многотактных устройств, то целесообразно составить алгоритм для этого режима

Обучающиеся сначала набирают модель дискретного устройства, устанавливают разрядность дискретного устройства и устанавливают тумблеры входных сигналов в исходное положение.

После подачи питания лабораторная установка автоматически устанавливается в исходное положение.

Обучающиеся фиксируют состояния входных и выходных элементов, а также состояния и значения проводимостей цепей элементов памяти.

Если состояние устойчивое, то обучающийся изменяет комбинацию входных сигналов, если состояние не устойчивое, то необходимо нажать кнопку ТАКТ, после чего должны измениться состояния элементов памяти.

Так продолжается до тех пор, пока не будут исследованы все заданные переходы. Решение на окончание исследований принимает обучающийся.

Для формализованного описания алгоритма функционирования логического устройства целесообразно ввести следующие функциональные и логические операторы:

A_0 – начало работы;

B_1 – набор модели дискретного устройства на наборном поле;

B_2 – задание базы разрядности анализируемого дискретного устройства;

B_3 – подача питания на логическое устройство;

A_1 – установка всех элементов логического устройства в исходное положение;

A_2 – контроль исходного состояния;

A_3 – индикация состояний входных и выходных элементов;

A_4 – индикация состояний элементов памяти и проводимостей их цепей;

B_4 – фиксация состояний входов и выходов обучаемым;

B_5 – принятие решения об окончании исследований;

B_6 – нажатие кнопки ТАКТ;

A_5 – формирование тактового импульса;

A_6 – изменение состояний элементов памяти в соответствии с проводимостями их цепей;

B_7 – ручное изменение состояний входных элементов.

A_k – конец работы, снятие питания.

Кроме функциональных операторов вводятся логические условия:

$$P_1 = \begin{cases} 0 - \text{лабораторная установка не в исходном,} \\ 1 - \text{лабораторная установка в исходном;} \end{cases}$$

$$P_2 = \begin{cases} 0 - \text{состояние устойчивое,} \\ 1 - \text{состояние не устойчивое;} \end{cases}$$

$$P_3 = \begin{cases} 0 - \text{продолжение исследований,} \\ 1 - \text{конец исследований.} \end{cases}$$

Для наглядности символами A_i обозначены операции, выполняемые логическим устройством автоматически, а символами B_i ручные операции, выполняемые обучающимися. Граф-схема алгоритма анализа многотактного устройства изображена на рис. 2.

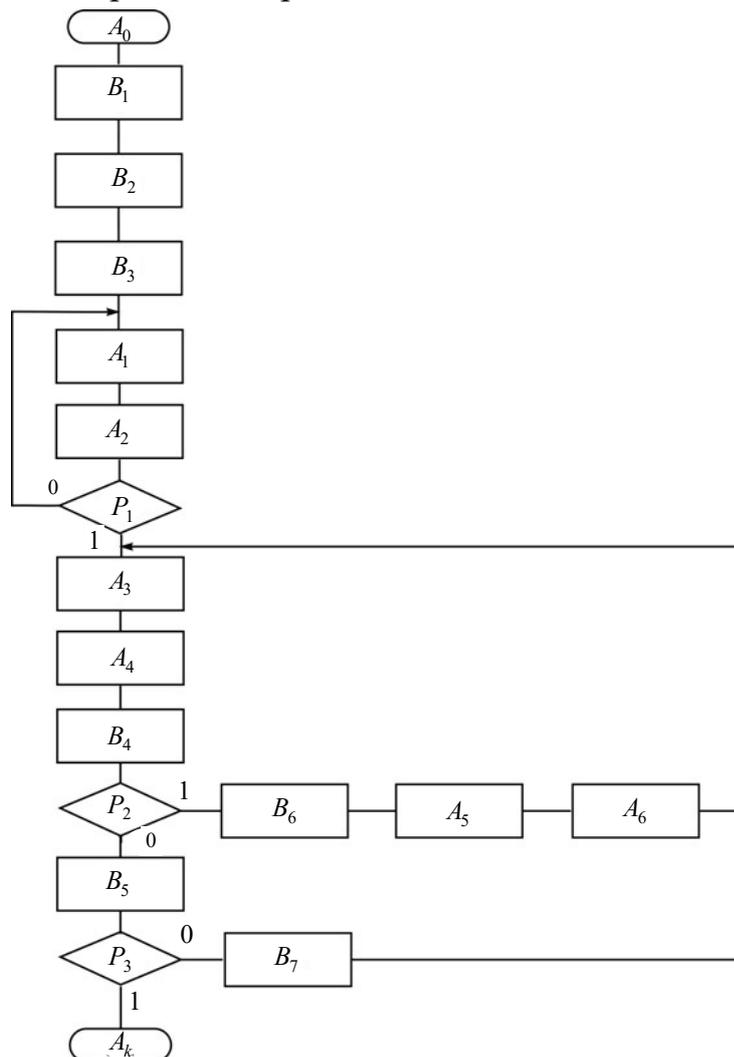


Рис. 2. Граф-схема алгоритма машинного анализа многотактных устройств

На основе алгоритма функционирования можно составить структурную схему лабораторной установки. Сначала определяется состав функциональных блоков необходимых для реализации функциональных и логических операторов.

Оператор B_1 можно реализовать с помощью наборного поля (НП).

Операторы B_2, B_3, B_6, B_7, A_1 реализуются с помощью панели управления (ПУ).

Для исполнения операторов A_2, A_3, A_4 необходимо устройство индикации (УИ).

Чтобы выполнить операторы A_6, P_2 используется блок элементов памяти (БП).

Формирование тактового импульса A_5 обеспечит генератор импульсов (ГИ).

Для обеспечения выполнения всех операторов в заданной последовательности необходимо устройство управления (УУ).

Исходя из логики работы предусмотренной алгоритмом функционирования устанавливаются функциональные связи между блоками. Так наборное поле должно быть связано с блоком элементов памяти. В то же время устройство индикации получает информацию через устройство управления, а блок элементов памяти связан с панелью управления так же устройство управления. Полученная структурная схема обеспечивает решение задач анализа многотактных конечных автоматов

Список литературы

1. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Алгоритм функционирования стенда для анализа дискретных устройств. Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы докладов II Поволжской научно-практической конференции / Под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 438–440.

2. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Разработка структуры лабораторной установки по анализу дискретных устройств. Материалы докладов XIX аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного «Дню энергетика» / Под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова: в 2 т. Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 238–239.

3. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Разработка структуры лабораторной установки по анализу дискретных устройств. Труды IX Международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2016. – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2016. – С. 570–573.

4. Ломакин И.В., Загидуллин Л.Р., Саттаров И.С. Лабораторная установка по анализу комбинационных устройств систем контроля. Ученые записки казанской государственной академии ветеринарной медицины. Т. 228 (IV). – Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2016. – С. 47–50.

5. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Стенд для моделирования функционирования контактных дискретных устройств автоматики. Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Седьмой Всероссийской научно-практической конференции / Под общей редакцией В.Ю. Островляничка. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2016. – С. 288–294.

УДК 621.317.619

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

И.В. Ломакин¹, П.В. Туктаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹lomakin_igor@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен анализ существующих способов контроля системы электропитания электропотребителей транспортного средства. Определены контролируемые параметры. Предложен алгоритм контроля системы электропитания автомобиля на основе анализа напряжений на отдельных элементах и потребляемых ими токов

Ключевые слова: электрооборудование, электропитание, транспортное средство, датчик, генератор, аккумулятор, контроль.

По количеству неисправностей и трудоемкости их поиска и устранения изделия электрооборудования автомобиля преобладают над другими системами двигателя. В настоящее время с целью восстановления изделий электрооборудования автомобиля при операциях технического обслуживания и ремонта широко используются методы технической диагностики.

Применительно к электрооборудованию автомобиля техническая диагностика исследует и устанавливает его состояние без разборки по выбранным признакам, а также разрабатывает методы оценки технического состояния, принципы построения и организации диагностических систем.

Однако текущей диагностике в настоящее время уделяется незначительное внимание. Поэтому работа направлена на разработку канала текущего контроля параметров системы электропитания автомобиля.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надежности автомобиля за счет совершенствования текущего контроля и диагностики состояния электрооборудования автомобиля в целом и системы электропитания в частности.

Целью работы является определение возможности построения канала текущего контроля параметров системы электропитания автомобиля.

К настоящему времени практически на всех автомобилях используются трехфазные синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением. Для выпрямления переменного тока в генератор встроены выпрямительный блок, собранный по мостовой схеме с тремя дополнительными диодами для питания обмотки возбуждения и подключения лампы контроля. Управление током возбуждения во всех схемах осуществляется в релейном режиме. Несмотря на имеющиеся конструктивные и небольшие схемные отличия, принципиальных отличий между схемами нет. Следовательно, одинаковы и характерные неисправности и методы их диагностики.

Поэтому в качестве объекта исследования выбраны системы электропитания, имеющие принципиальные схемы аналогичные показанной на рис. 1.

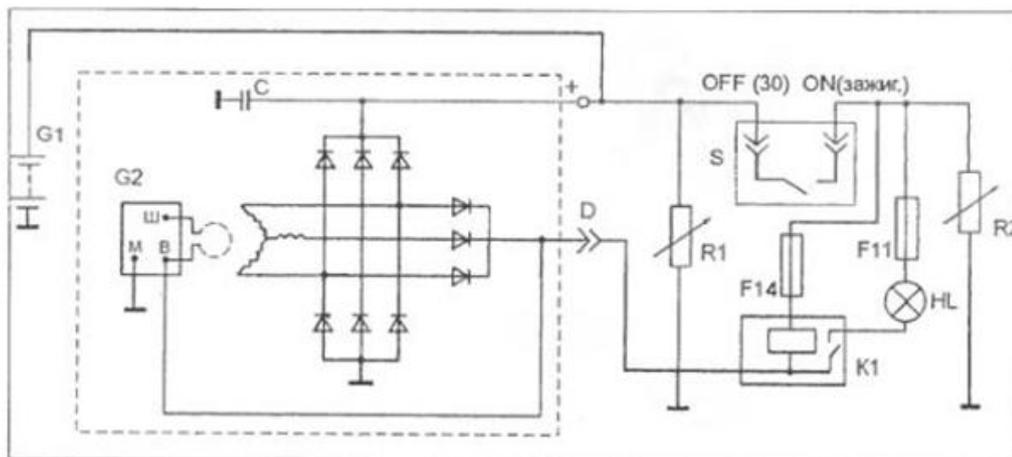


Рис. 1. Принципиальная схема системы электропитания с генератором и интегральным регулятором напряжения

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить анализ существующих способов контроля системы электропитания транспортного средства и выявить граничные значения ее параметров для различных состояний. Затем определяется набор контролируемых параметров.

Контроль аккумуляторных батарей. По данным немецкого автоклуба ADAC оказывающего экстренную помощь на дороге, самая частая неисправность – это севший в пути аккумулятор. Более чем в 60 % всех аварий, произошедших в связи с дефектными аккумуляторными батареями, батареи находились в состоянии глубокого разряда, а еще в 28,7 % случаев во время осмотра выяснялось, что батареи были заряжены некачественно. Таким образом, примерно в 90% аварий, связанных с выходом из строя аккумуляторов, причиной оказывался низкий уровень их заряда [1].

Срок службы аккумуляторных батарей определяют по продолжительности от начала эксплуатации до момента снижения ее емкости до 40 % от номинального значения. Обычно автомобильный аккумулятор имеет срок службы от двух до четырех лет.

О состоянии аккумуляторных батарей можно судить по величине напряжения холостого хода. Для оценки разряженности батареи следует измерить напряжение холостого хода с помощью мультиметра. Значения напряжения на клеммах аккумулятора при различных степенях зарядки представлено в таблице.

Напряжение на клеммах аккумулятора при различных степенях зарядки

Степень зарядки аккумулятора, %	Напряжение на клеммах аккумулятора, В
100	12,6
75	12,4
50	12,2
25	12
0 (полностью разряжен)	11,8

При достижении напряжения в 11 В батарею использовать не просто нельзя, но и опасно, т.к. появляется риск вывести из строя генератор [1].

Более подробные данные приводятся фирмами занимающимися продажей и обслуживанием аккумуляторных батарей [2]. Из анализа этих данных следует, что напряжение холостого хода при известной температуре U_{XX}^T имеет линейную зависимость от степени заряда S аккумуляторной батареи:

$$U_{XX} = \frac{U_{XX0}^T + (U_{XX100}^T - U_{XX0}^T)S}{100}$$

или

$$S = \frac{U_{XX}^T - U_{XX0}^T}{U_{XX100}^T - U_{XX0}^T} 100\%. \quad (1)$$

При этом необходимо учесть зависимость напряжения холостого хода от температуры

$$U_{XX}^T = U_{XX}^{T0} - 0,004 \cdot 1,55^{-(28+T)/18} (T_0 - T). \quad (2)$$

С учетом этого формулы (1) и (2) преобразуются к виду

$$S = (U_{XX}^T - U_{XX0}^T) \cdot 100\%. \quad (3)$$

и

$$U_{XX}^T = 12,8 - 0,004 \cdot 1,55^{-(28+T)/18} (26,7 - T). \quad (4)$$

Результат аппроксимации напряжения батареи для 100 % степени зарядки показан на рис. 2.

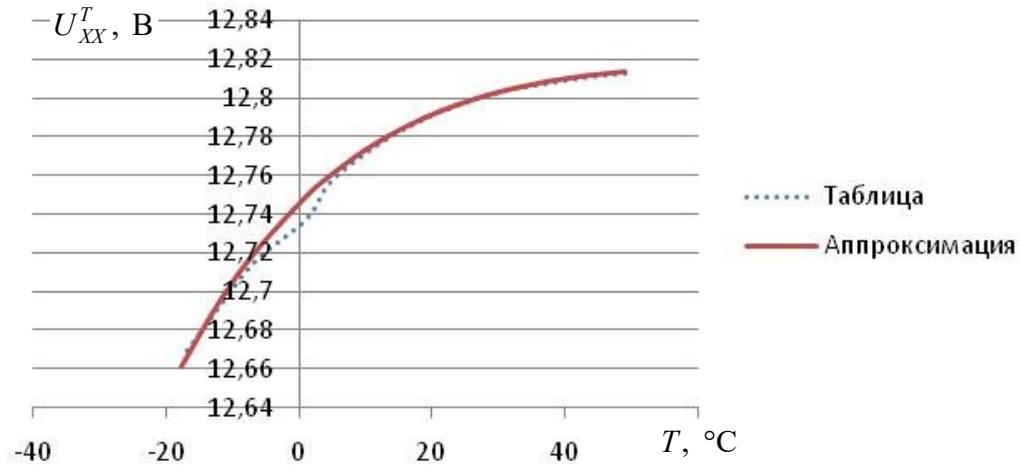


Рис. 2. Результат аппроксимации напряжения батареи для 100% степени зарядки

Следует учесть, что измерение напряжения холостого хода позволяет только определить степень заряженности аккумулятора, но не может быть использовано для индикации емкости, определения пусковых характеристик и тем более оценки ресурса аккумулятора.

Гораздо более информативным является тестирование аккумулятора под нагрузкой, что является своего рода имитацией запуска двигателя. Если аккумулятор заряжен и исправен, то напряжение в конце 5 сек будет превышать 10,2 В. Надо отметить, что напряжение качественной аккумуляторной батареи при подобной проверке должно держаться стабильно и не падать.

Если замеренное напряжение холостого хода превышает 12,6 В, а тестирование же под нагрузкой показывает на недозаряд или полный разряд батареи, то это значит, что аккумуляторная батарея неисправна, и нужно либо искать поломку, либо просто менять аккумулятор.

Если напряжение под действием нагрузки опустилось ниже 10 В и продолжает снижаться, и кроме того, происходит выделение газа из электролита в результате кипения в одной либо двух банках, то такие признаки характерны для внутреннего замыкания, и аккумулятор необходимо менять.

Когда аккумулятор под действием нагрузки демонстрирует снижающееся без паузы напряжение и при этом электролит закипает во всех банках, то это признак того, что произошла сульфатация пластин и аккумуляторная батарея к эксплуатации непригодна [1].

Контроль состояния генератора. При повышенном регулируемом напряжении автомобильного генератора имеет место ток перезаряда. При повышенном напряжении сила зарядного тока более 10 А не снижается в течение 4–6 часов непрерывной езды днем.

При заниженном напряжении происходит быстрый разряд аккумуляторной батареи

При диагностировании генератора необходимо проверить регулируемое напряжение и мощность, развиваемую генератором на определенных частотах вращения. При этом авторы [3] предупреждают, что с помощью измерения напряжения и тока выявить характерные неисправности генераторов переменного тока не представляется возможным.

Выбор контролируемых параметров. Вследствие того, что предполагается осуществлять текущий контроль системы электропитания автомобиля, то необходимо воспользоваться косвенными методами оценки состояния системы электропитания, которые позволят выявить ее неисправность системы без точной диагностики места отказа.

Основные контролируемые параметры определим на основе анализа взаимосвязи токов при различных соотношениях напряжений генератора и аккумуляторной батареи:

$$I_{\Gamma} = I_{\text{бз}} + I_{\text{н}} \text{ при } U_{\Gamma} > E_{\text{б}}; \quad (5)$$

$$I_{\Gamma} = I_{\text{н}} \text{ при } U_{\Gamma} = E_{\text{б}}; \quad (6)$$

$$I_{\Gamma} + I_{\text{бр}} = I_{\text{н}} \text{ при } U_{\Gamma} < E_{\text{б}}; \quad (7)$$

$$I_{\text{бр}} = I_{\text{н}} \text{ при } U_{\Gamma} = 0, \quad (8)$$

где I_{Γ} – ток генератора; $I_{\text{бз}}$ – ток, потребляемый батареей при заряде; $I_{\text{бр}}$ – ток, отдаваемый батареей при разряде; $I_{\text{н}}$ – ток, потребляемый потребителями; $E_{\text{б}}$ – ЭДС аккумуляторной батареи; U_{Γ} – напряжение генератора [4]. Эти величины и предлагается использовать в качестве контролируемых параметров.

При выборе параметров контроля следует учесть, что $I_{\text{бз}}$ и $I_{\text{бр}}$ это ток один и тот же батареи $I_{\text{б}}$, но разного направления. Следовательно, в соответствии с первым законом Кирхгофа можно записать

$$I_{\Gamma} + I_{\text{б}} + I_{\text{н}} = 0. \quad (9)$$

Для оценки степени заряженности аккумуляторной батареи предлагается контролировать напряжение $U_{\text{б}}$ на ее выводах до подключения потребителей (режим «Включение»).

Для оценки состояния аккумуляторной батареи предлагается контролировать напряжение U_6 на ее выводах и отдаваемый батареей ток I_6 в процессе пуска двигателя (режим «Старт»). По результатам этого контроля можно вычислить внутреннее сопротивление аккумулятора r_6 .

После запуска двигателя (режим «Работа») необходимо постоянно контролировать зарядку аккумулятора. Для этого следует измерять напряжение генератора – батареи $U_k = U_6 = U_g$ и токи I_g , I_6 , I_n . Для повышения точности измерений может потребоваться значение температуры в подкапотном пространстве T .

Элементы контроля предлагается разместить так, как показано на рис. 3. В качестве датчиков тока могут быть использованы датчики тока на элементах Холла.

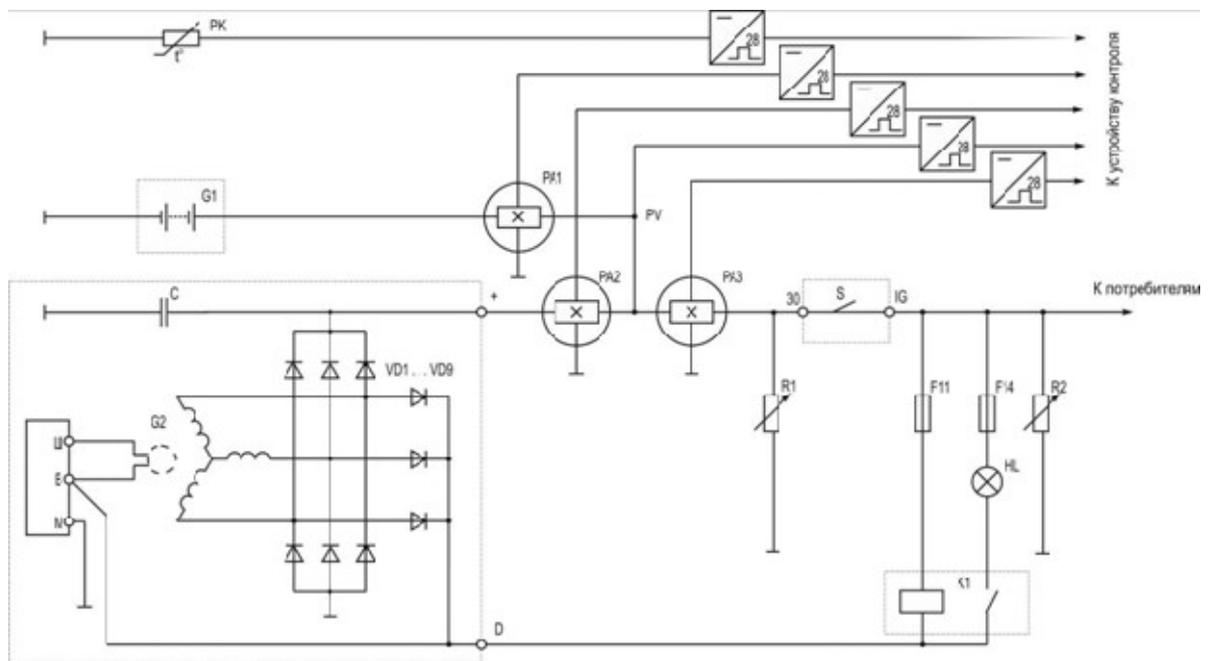


Рис. 3. Принципиальная схема системы электропитания с датчиками

Вывод. Для текущего контроля системы электропитания автомобиля, необходимо воспользоваться как прямыми, так и косвенными методами оценки ее состояния. Контроль целесообразно осуществлять в трех режимах функционирования системы электропитания автомобиля: «Включение», «Старт», «Работа». В качестве контролируемых параметров предлагается использовать ток генератора (I_g), ток батареи (I_6), ток, потребляемый потребителями (I_n), напряжение генератора – батареи ($U_k = U_6 = U_g$).

Список литературы

1. Диагностика аккумуляторных батарей – путь к эксплуатации без сюрпризов URL: <http://a-kt.ru/articles/diagnostika-akkumulyatornykh-batarei-put-k-ekspluatatsii-bez-syurprizov>.

2. АКБ-OIL сервис. URL: <http://www.akb-oil.com.ua>

3. Сергеев А.Г., Ютт В.Е. Диагностирование электрооборудования автомобилей. URL: <http://www.bibliotekar.ru/auto-elektrooborudovanie/index.htm>

4. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учебник для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2006. – 440 с.

5. Основы теории контрольно-пусковой аппаратуры. Часть 2. Краткий текст лекций / Вилков Ю.Н., Ломакин И.В. – Казань: КВВКИУ РВ, 1989. – 48 с. : ил.

УДК 620.179.14

ДЕФЕКТЫ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Н.В. Махортова¹, Т.В. Победа²

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет
имени Владимира Даля», г. Луганск

E-mail: ¹makhortova_n@mail.ru, ²pobeda-tatyana@rambler.ru

Аннотация. Сделан анализ повреждений подшипников эксплуатационного происхождения. Рассмотрено движение сепаратора в зависимости от его основных параметров, таких как зазор «плавания», зазоров в гнездах и др. Приведены графики оценки этих параметров.

Ключевые слова: подшипниковые узлы, дефект, надежность, виброакустический сигнал, частота, анализ, контроль.

Своевременное выявление и изъятие из эксплуатации подшипников с дефектами представляет значительный интерес при контроле деталей подшипников. Успехи, достигнутые в области теории колебаний, позволяют применять акустические методы для контроля состояния конкретных изделий и деталей, представляющих собой тела как простой, так и сложной формы. Безразборное обнаружение неисправностей буксовых узлов железнодорожных транспортных средств на ранней стадии дает возможность не только предотвратить их внезапные отказы, но и перейти к эксплуатации и обслуживанию оборудования по фактическому состоянию, исключив ненужные вскрытия этих узлов. Обнаружение зарождающихся дефектов механизмов и прогнозирование оптимальных сроков проведения их технического обслуживания и ремонта, позволяет обеспечить максимально возможный экономический эффект за счет снижения трудозатрат и расхода запасных частей.

Повреждения подшипников в эксплуатационных условиях можно условно разделить на следующие группы [1]:

1. Разрушения от усталости материала.
2. Повреждения от повышенного износа.

3. Разрушения, вызываемые изменением зазоров и посадок между деталями подшипников и опорами якоря (ротора).

4. Повреждения из-за недостаточности или прекращения смазки.

Усталостное разрушение подшипников качения проявляется в виде выкрашивания материала дорожек колец и тел качения и может происходить из-за чрезмерно больших нагрузок или скоростей вращения. Износ деталей подшипников выше допустимого, особенно тел качения и поверхности колец, приводит к увеличению радиальных зазоров.

Износ гнезд сепаратора происходит в результате неправильного монтажа подшипников, от действия больших осевых нагрузок, выкрашивания дорожек качения и других причин. Кроме этого, имеются случаи усталостного разрушения сепаратора, появления трещин и разрывов перемычек и сепаратора.

При некоторых условиях работы возможно проскальзывание внутреннего кольца подшипника относительно тел качения, что приводит к износу поверхностей качения.

Наряду с этим в процессе эксплуатации при возникновении и с развитием повреждений в элементах конструкции подшипников до определенного уровня в спектре колебаний работающей машины появляются дискретные составляющие, частоты которых определяются видом повреждения: волнистость на дорожках качения, повышенный зазор в обойме, овальность тел качения, овальность колец наружного или (и) внутреннего, гранность тел качения; увеличенный зазор в гнездах сепаратора, повреждения тел и дорожки качения вследствие выкрашивания.

Анализируя вибрационные процессы, сопровождающие работу оборудования, можно без вывода оборудования из рабочего режима получить достаточно полную и достоверную информацию о его текущем состоянии и начинающихся зарождаться в нем неисправностях.

Локализация развивающейся неисправности, еще не приведшей к катастрофическим последствиям, определение степени развития зарождающегося дефекта и прогноз на будущее возможны на основе тонкой структуры виброакустического сигнала и связи его с кинематикой и динамикой узла.

Изучение свойств виброакустических процессов циклического действия, показало, что при появлении неисправности меняется структура сигнала, т.е. меняется соотношение между его компонентами или появляются новые [2].

Характер изменения вибрационных процессов, вызванных изменением состояния контактирующих поверхностей, имеет ряд общих черт, несмотря на различие конструкций и назначение кинематических узлов. Это позволяет сформулировать некоторые правила диагностирования дефектов контактирующих поверхностей типа абразивного износа, выкрашивания и задира, общие для зубчатых колес, подшипников скольжения и качения, сопряжения втулка цилиндра–поршень и других узлов, содержащих пару трения.

1. Истирание (абразивное изнашивание) контактирующих поверхностей сопровождается появлением микронеровностей в зоне контакта, нарушением микро- и макрогеометрии деталей, следствием чего является рост шумовой компоненты, увеличение амплитуд гармонического ряда, основной частоты возбуждения кинематического узла и перераспределение амплитуд между гармониками этого ряда.

2. Выкрашивание (локальное изнашивание) контактирующих поверхностей, проявляющееся в развитии раковин в зоне контакта, вызывает появление периодических всплесков вибросигнала, модулирующих основной процесс возбуждения колебаний. Периодическое попадание раковин в зону контакта приводит к появлению в спектре сигнала комбинационных частот в окрестности основных частот возбуждения, вызванных амплитудной модуляцией.

3. Развитие трещины в теле детали вращения, приводящие к поломке очень сходно по своему проявлению в спектре сигнала с развитием выкрашивания, но скорость развития данного дефекта значительно выше.

4. Задир контактирующих поверхностей, являющийся следствием увеличения коэффициента демпфирования механической системы, сопровождается мгновенным разогреванием локальных участков, «схватыванием» поверхностей в зоне контакта и последующим наволакиванием металла. Появление задира приводит к фазовой модуляции на основных частотах возбуждения. С развитием задира виброакустический сигнал становится существенно нестационарным из-за нерегулярности выбросов. В спектре сигнала наблюдается падение амплитуд основных частот возбуждения при одновременном росте амплитуд комбинационных частот.

Для выявления дефектов на ранней стадии необходимо привлекать наиболее информативные характеристики, такие, например, как форма одномерного закона распределения, величина коэффициента эксцесса сигнала в окрестности одной из собственных частот, число выбросов сигнала в единицу времени, превышающих некоторое пороговое значение, глубина

амплитудной и фазовой модуляции, спектр огибающей. Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный способ обработки сигнала, который сводит к минимуму влияние помех и позволяет однозначно соотнести полученную характеристику сигнала с видом дефекта.

Возникновение и развитие дефектов в машинах часто приводят к появлению нелинейных эффектов, использование которых для формирования диагностических признаков позволяет получить более ценную диагностическую информацию, чем на основе рассмотрения линейных моделей. Для этой цели следует использовать величины амплитуд комбинационных частот, глубину модуляции или частотной девиации, компоненты биспектра, данные регрессионного и дисперсионного анализа [3, 4].

Подшипниковые узлы, являясь неотъемлемой частью современных машин и механизмов, часто лимитируют их ресурс. Диагностику узла можно осуществлять различными методами. Так, состояние подшипника можно оценить по химическому составу масла, наличию в нем посторонних включений, по температуре и по вибрации. Из-за отсутствия доступа к подшипниковым узлам надежность работы подшипников качения можно контролировать на основании их вибрационного состояния и точности изготовления [5].

Рассмотрим, как наличие зазоров между сепаратором и наружным кольцом подшипника и зазоров между перемычками и роликами подшипника влияют на изменение частоты вращения сепаратора.

Анализ результатов расчетов [6] показал, что частота вращения роликов в зоне нагружения подшипника вследствие разной величины их упругих деформаций, допускаемой разноразмерностью роликов по диаметру до 0,004 мм, и наличия радиального зазора в подшипнике изменяется на ничтожно малую величину в пределах сотых долей процента.

Рассмотрим движение сепаратора в зависимости от его основных параметров: зазора между сепаратором и наружным кольцом подшипника (зазор «плавания») $S_{пл}$, зазоров между (зазоров в гнездах) S_0 , режимов работы подшипника по нагружению и частоте вращения. Обычно сепараторы подшипников практически всегда имеют зазоры по чертежу $S_{пл} = 0,7 \div 0,97$ мм, $S_0 = 0,248 \div 0,504$ мм. Для оценки влияния величин этих зазоров на движение сепаратора была принята схема, при которой ролики рассматриваются в качестве одной системы, движущейся равномерно с некоторой постоянной угловой скоростью $\omega_{ор}$ относительно оси подшипника, а сепаратор – в качестве другой системы с угловой скоростью движения ω_c [5]. Наличие

зазора $S_{\text{пл}}$ приводит к смещению центра вращения сепаратора и образованию при этом эксцентриситета $\varepsilon_c = S_{\text{пл}}/2$, вследствие чего сепаратор и центры роликов, расположенные на окружности с радиусом r_0 , в зоне нагружения вращаются вокруг разных осей (рис. 1).

Ролик в нагруженной зоне совершает плоское движение. Центры роликов движутся вокруг точки O_1 , а сепаратор – вокруг точки O_2 . Вращение сепаратора определяется изменением во времени угла φ_c , а вращение центров роликов – изменением угла φ_p .

Соотношение угловых скоростей вращения сепаратора ω_c и центров роликов ω_{0p} при наличии зазора «плавания» в зависимости от угловой координаты φ_p (при отсчете от вертикальной оси подшипника в верхней его части) вычисляется по формуле (1).

$$\frac{\omega_c}{\omega_{0p}} = \frac{1 + m \cos \varphi_p}{1 + 2m \cos \varphi_p + m^2}, \quad (1)$$

где $m = \frac{S_{\text{пл}}}{D_0}$; D_0 – диаметр окружности, проходящей через центры роликов.

Из зависимости (1) следует, что наименьшее значение отношения ω_c/ω_{0p} (наибольшая разность этих скоростей) имеет место в середине нагруженной зоны подшипника, а наибольшее – на границах нагруженной зоны (рис. 2).

В пределах нагруженной зоны подшипника это соотношение будет всегда меньше единицы. Так как движение сепаратору сообщается роликом в нагруженной зоне подшипника, то при наличии зазора «плавания» угловая скорость вращения сепаратора ω_c не достигнет значений скорости ω_{0p} , которая рассматривается как теоретическая.

Отставание движения сепаратора от движения роликов в пределах нагруженной зоны подшипника (или то же самое за один оборот вокруг оси) из-за наличия зазора между сепаратором и наружным кольцом подшипника определяется средним на протяжении зоны ψ_p значением отношения ω_c/ω_{0p} , которое соответствует углу $\varphi_p = \varphi_{-p}$. Отставание будет тем больше, чем больше зазор $S_{\text{пл}}$ и зона нагружения ψ_p :

$$O_{\text{пл}} = \left(1 - \frac{\omega_c}{\omega_{0б}} \right) \cdot 100\%. \quad (2)$$

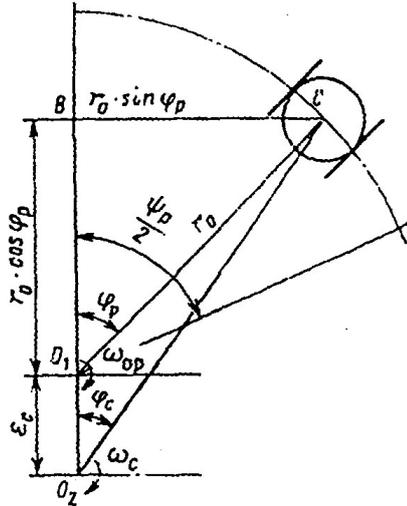


Рис. 1. Схема для оценки влияния зазора «плавания» $S_{пл}$ на движение сепаратора

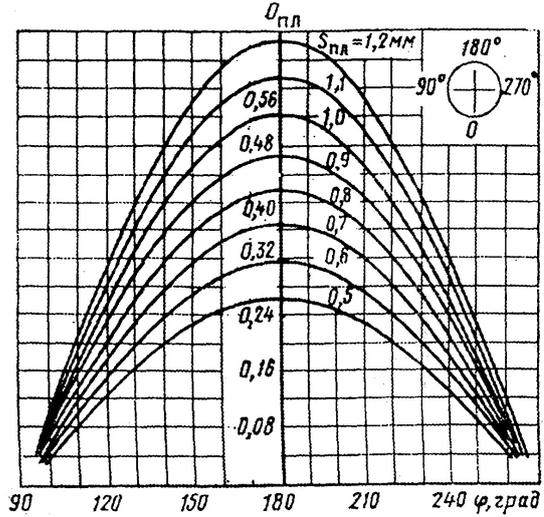


Рис. 2. Отставание движения сепаратора $O_{пл} = (1 - \omega_c / \omega_{об}) \cdot 100\%$ от движения роликов в зависимости от углового положения роликов

Частота вращения сепаратора ω_c в зависимости от частоты вращения роликов ω_{0p} при наличии зазоров S_0 между роликами и перемычками сепаратора подсчитывается следующим образом:

$$\omega_c = \frac{\omega_{0p}}{2} \left(1 - \frac{d_p}{D_0} \right) \left(1 - \frac{S_0}{L_p} \right), \quad (3)$$

где d_p – диаметр ролика; $L_p = \pi D_0 \psi_p / 360$ – это величина зоны нагружения по окружности центров роликов.

Из зависимости (3) следует, что при наличии зазоров S_0 действительная частота вращения сепаратора будет ниже частоты вращения центров роликов вокруг оси подшипника и не может достигнуть теоретической величины. При этом отставание движения сепаратора от движения роликов, определяемое наличием зазора S_0 , будет тем большим, чем больше величина S_0 и меньше величина нагруженной зоны ψ_p .

Зависимость частоты вращения сепаратора от частоты вращения центров роликов при суммарном влиянии зазоров $S_{пл}$ и S_0 можно записать в виде:

$$\omega_c = \frac{\omega_{0p}}{2} \left(1 - \frac{S_0}{L_p} \right) \frac{1 + m \cos \varphi_{ср}}{1 + 2m \cos \varphi_{ср} + m^2}. \quad (4)$$

Расчеты показали, что наличие зазоров $S_{пл}$ и S_0 оказывает существенное влияние на изменение частоты вращения сепаратора. Максимальное отставание движения сепаратора от движения роликов при наибольших существующих величинах $S_{пл}$ и S_0 может достигнуть 0,63%.

Выводы. Изучение свойств виброакустических процессов показало, что возникновение и развитие дефектов в узлах приводят к появлению нелинейных эффектов. Для более точного анализа сигнала следует использовать величины амплитуд комбинационных частот, глубину модуляции или частотной девиации, компоненты биспектра, данные регрессионного и дисперсионного анализа.

Из-за отсутствия доступа к подшипниковым узлам надежность работы подшипников качения можно контролировать на основании их вибрационного состояния и точности изготовления.

Список литературы

1. Мирошников В.В., Махортова Н.В., Бодрухин А.Н. Дистанционный контроль подшипников буксовых узлов: монография. – Донецк: ООО «НПФ «Фолиант», 2016. – 117 с.
2. Вибрационная диагностика зарождающихся дефектов зубчатых механизмов / Э.Л. Айрапетов, Ф.Я. Валицкий, М.А. Иванова и др. // Техническая диагностика: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. – Суздаль, 1982. – С. 11–13.
3. М.Д. Генкин, Ф.Я. Валицкий, Ю.И. Бобровницкий и др. Вопросы акустической диагностики // Методы виброизоляции машин и присоединенных конструкций. – М.: Наука, 1975. – С. 67–91.
4. Махортова Н.В. Система сбора и фиксации информации о состоянии буксовых узлов подвижного состава / Н.В.Махортова // Восточно-украинский журнал передовых технологий, 2013. – 1–2 (61). – С. 54–56
5. Махортова Н.В. Контроль состояния буксовых узлов на основе виброакустического анализа: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.11.13. – Луганск, 2014. – 75 с.
6. Коднир Д.С. Контактно-динамический расчет ролико-подшипников. – М.: НИИНАвтопром, 1972. – С. 9–52.

УДК 681.121.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСХОДА СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ

В.С. Парфенова¹, О.В. Козелков²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹parfenova.valser@gmail.com, ²ok.1972@list.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема контроля расхода жидкости, решаемая с помощью магнитно-резонансного анализатора, а также приведены формулы для моделирования этого процесса в программной среде.

Ключевые слова: расходомер, магнитный резонанс, скорость релаксации, производительность, анализ параметров, ЯМР, скорость потока.

Залогом успеха при добыче и переработке нефти, а также производстве нефтепродуктов является оперативное получение информации с устройств контроля. На основе этих данных мы можем делать выводы о состоянии участка и выбирать оптимальные технологии для работы [1].

Основным параметром производительности нефтедобывающих скважин является расход [2], определение которого является значительной проблемой в связи с высокой погрешностью измерений и узкой областью применения существующих расходомеров.

Данную проблему можно решить, используя анализатор на основе магнитного резонанса [3] методом ядерной магнитно-резонансной релаксометрии, позволяющего без пробоподготовки в автоматическом режиме и на потоке проводить экспресс-контроль и анализ параметров сырья и нефтепродуктов. Таким анализатором является ЯМРА-III третьего поколения. Он состоит из релаксометра ЯМР с датчиком, имеющим трубку, для облучения потока жидкости и получения сигналов спин-эхо ЯМР, по которым определяются параметры жидкости, системы пробоотбора, содержащей измерительную трубу, соединенную трубкой пробоотбора с релаксометром ЯМР. В трубке пробоотбора установлен патрубок, имеющий возможность перемещения по сечению конического расширителя. Контроль перемещения патрубка по сечению конического расширителя осуществляется введенным контроллером, соединенным с электромагнитными катушками [4].

Для измерения расхода входной патрубок ЯМРА III располагается в таком положении сечения расширения трубы, которое обеспечивает диапазон скоростей потока с зависимостью значений скорости релаксации от скорости потока V (м/с) или расхода Q (л/час), представленная для 25 и 90%-й эмульсий и чистой воды [5]. Значения V и Q определяют по формулам:

$$V = \frac{K_C S (T_{20}^{-1} + \tau^{-1})}{K S_D}; \quad Q = K_C S (T_{20}^{-1} + \tau^{-1}),$$

где $K = S/S_D$ – коэффициент редукации; S_D и S – площади сечений трубки датчика ЯМР и трубы (на уровне положения патрубка в коническом расширении измерительной трубы); K_C – коэффициент в зависимости $Q_D = K_C S_D T_{2\text{эфф}}^{-1}$, зависящий от состава. Расход Q_i (и соответственно, скорости V_i) отдельных компонент жидкости определяют по формуле:

$$Q_i = Q P_i,$$

где P_i – концентрация i -й компоненты смеси, определяемой из огибающих эхо в методике КПМГ.

Относительная погрешность данного метода $\pm 1,5$ %.

Список литературы

1. ГОСТ Р 8.575-2004 Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений.

2. Патент РФ № 2152006 С1 G01F1/716. Жерновой А.И., Белов Е.М., Важев Ю.Н., Евстафьев Н.В., Ерусалимский М.И., Ефимов Г.В., Карандин В.Н., Поздняков А.П. «Ядерно-магнитный расходомер для многофазной среды».

3. Свидетельство на полезную модель № 40496 U1 от 10.09.2004 на «Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентной жидкости на основе ЯМР» / Валиев Р.Ф., Харисов А.Г., Садыков И.И., Шмелев А.А., патентообладатель ОАО «Альметьевский з-д «Радиоприбор».

4. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш. Патент РФ № 2544360. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом ядерного магнитного резонанса Оpubл. 20.03.2015. Бюлл. № 8.

5. Кашаев Р.С., Кубанго Б.Э. Проточные ЯМР-анализаторы для контроля скважинной жидкости, сырой нефти и нефтяных дисперсных систем, 2016.

УДК 621.10

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВА И РАСХОДА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Ч.В. Тунг¹, Н.Т. Киен², Р.С. Кашаев³

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹tvtung@cnd.edu.vn, ²nckien@cnd.edu.vn, ³kashaev2007@yandex.ru

Использование: для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом протонного магнитного резонанса (ПМР) – новое перспективное направление анализа физико-химических параметров (ФХП) скважинной жидкости (СКЖ). Последний патент РФ на эту тему [1].

Сущность метода заключается в том, что устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей с использованием метода ПМР включает релаксометр ЯМР с датчиком, имеющим трубку, для облучения потока жидкости и получения сигналов спин-эхо ПМР, по которым определяются параметры СКЖ, систему пробоотбора, содержащую измерительную трубу, соединенную трубкой пробоотбора с релаксометром

ПМР, при этом измерительная труба имеет конический расширитель, а в трубке пробоотбора установлен патрубок, имеющий возможность перемещения по сечению конического расширителя, при этом конический расширитель расположен вертикально, в измерительной трубе, перед входом потока жидкости в конический расширитель, установлена защитная сетка, в коническом расширителе установлены тензометрические датчики давления, а в полости нижней части конического расширителя по периметру размещены зубчатые кольца, на трубке пробоотбора размещены электромагнитные катушки управления перемещением патрубка, при этом контроль перемещения патрубка по сечению конического расширителя осуществляется введенным контроллером, соединенным с электромагнитными катушками. Технический результат: исключение расслоения фаз в коническом расширителе измерительной трубы и возможности засорения патрубка пробоотбора асфальтено-смолистыми включениями и механическими примесями, обеспечение эффективной турбулизации и гомогенизации потока жидкости в коническом расширителе измерительной трубы, также автоматизации процесса измерения

По ГОСТ 8.615-2005 требуется измерение добытой СКЖ для расчета величины налога. Замеры нужны и для слежения за величиной запасов, управления работой установок, учета, оптимизации процесса добычи и планирования разработки месторождения, т.е. необходим и технический (бригадный) учет. При этом по ГОСТ 8.615-2005 на скважине погрешности измерений должны быть не более: массы жидкости $\pm 2,5\%$; массы нетто нефти $\pm 6\%$ при обводненности до 70%; $\pm 15\%$ при обводненности до 95%; объема нефтяного газа $\pm 5\%$.

Поэтому возникает задача контроля всей СКЖ и с помощью автоматики сочетать высокую точность лабораторного анализа с постоянством работы поточных анализаторов. Контроль на скважине в подавляющем большинстве осуществляется на групповых замерных установках (ГЗУ) типа «Спутник» путем сепарации на фазы и замера дебита и качества фаз путем опроса трубопроводов с куста скважин. Точность замеров не превышает 4%.

Основной задачей реконструкции узлов учета нефти является их оснащение автоматизированной системой измерения количества и качества нефти (АСИКН). Но их стоимость достигает от 300 тыс. долл. до 0,7–1,2 млн. долл. Для небольших нефтегазодобывающих компаний, которые поставляют более 30% добычи нефти, их цена слишком высока.

Прототипом описываемого устройства является устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей с использованием метода протонного магнитного резонанса по патенту RU на полезную модель №74710, МПК G01N 24/08, 10.07.2008). Согласно патенту поток жидкости, попадая в конический расширитель трубы, снижает скорость v и увеличивает давление P в силу непрерывности потока $Q_i = S_i v_i = \text{const}$. В результате происходит турбулизация и гомогенизация СКЖ, которая через входной патрубок поступает со скоростью v_i , определяемой положением патрубка в сечении расширителя S_i , в датчик магнита ПМР-анализатора и выходит через выходной патрубок. В результате, скорость потока определяется разницей давлений $(P_T - P_i)$ в сечениях S_T и S_i , где S_T – сечение в трубе, S_i – сечение в коническом расширителе, соответствующее положению патрубка. При расположении патрубка на сечении измерительной трубы разница давлений будет близка к нулю независимо от P_T в трубе и скорость потока v_d через датчик ПМР также будет близка к нулю, что необходимо для измерения ПМР-параметров (времен релаксации и концентрации воды, нефти и газа, дисперсности, плотности и др.) в «остановленном» потоке. Конструктивно это означает отказ от насосов подачи пробы и вентилях, требующих взрывозащиты и имеющих низкий ресурс работы.

Недостатками прототипа являются вероятность расслоения фаз в горизонтально расположенном коническом расширителе измерительной трубы, возможность засорения патрубка асфальтено-смолистыми агрегатами и механическими примесями, недостаточная турбулизация потока жидкости в коническом расширителе измерительной трубы, недостаточная автоматизация процесса измерения. Устранение этих недостатков достигается тем, что в устройстве в конусе трубы пробоотбора установлен патрубок, имеющий возможность перемещения по сечению конического расширителя, согласно изобретению конический расширитель расположен вертикально, измерительная труба имеет полость отстоя, причем в измерительной трубе, перед входом потока жидкости в конический расширитель, установлена защитная сетка, в коническом расширителе установлены тензометрические датчики давления, а в полости нижней части конического расширителя по периметру размещены зубчатые кольца, на трубке пробоотбора размещены электромагнитные катушки управления перемещением патрубка, при этом контроль перемещения патрубка по сечению конического расширителя осуществляется введенным контроллером, соединенным с электромагнитными катушками.

Для измерения расхода Q_T патрубков расположен в сечении, обеспечивающем скорость потока, для которого получена максимальная крутизна зависимости эффективной скорости релаксации $(T_{2\text{эфф}})^{-1}$ от расхода потока жидкости, при этом скорость v_T потока и расхода Q_T в измерительной трубе определяют соответственно по формулам:

$$v_T = \frac{K_C S T_{2\text{эфф}}^{-1}}{K S_D} \text{ и } Q_T = K_C S T_{2\text{эфф}}^{-1}, \quad (1)$$

где S_D – площадь сечения трубки датчика релаксометра ПМР; S – площадь сечения конического расширителя на уровне положения патрубка, $K = S_T/S_D$ – коэффициент редукции; K_C – коэффициент в зависимости $Q_D = K_C S_D T_{2\text{эфф}}^{-1}$, $T_{2\text{эфф}}^{-1} = T_{20}^{-1} + \tau^{-1}$, здесь T_{20} – время релаксации в неподвижной жидкости, τ – время нахождения жидкости в датчике ЯМР, а расходы Q_i компонент жидкости определяют по формуле $Q_i = Q P_i$, где P_i – концентрация i -й компоненты смеси, определяемая из разложения на компоненты огибающей спин-эхо сигнала ПМР по экстраполированным на нулевое время значениям.

Объемное содержание газа V_G определяют по формуле:

$$V_G = \frac{A_0 - A_G}{A_0}, \quad (2)$$

где A_0 , A_G – соответственно начальные амплитуды при полном заполнении датчика ЯМР сырой нефтью и частичном заполнении его газом.

Для измерения расхода патрубков расположен в сечении, обеспечивающем скорость потока, для которого получена максимальная крутизна зависимости эффективной скорости релаксации от расхода потока жидкости.

Отличительные конструктивные признаки предлагаемого устройства обеспечивают следующие технические результаты.

Вертикальное расположение конического расширителя устраняет возможность расслоения и влияния на измерение неполного заполнения трубки, ведущей в релаксометр ПМР.

Наличие в измерительной трубе полости обеспечивает оседание (отстой) механических примесей.

Сетка защищает патрубок от асфальтено-смолистых включений и механических примесей.

Для контроля давления в коническом расширителе установлены тензотрические датчики давления.

Размещение зубчатых колец по периметру полости нижней части конического расширителя создает эффективную турбулизацию и дополнительную гомогенизацию потока жидкости, достигая тем самым более высокую представительность пробоотбора. Контроль и управление перемещением патрубка по сечению конического расширителя осуществляется контроллером Atmega 851 SL, при этом обеспечивается автоматизация процесса измерения путем управления положением патрубка на уровне, соответствующем максимальной крутизне эффективной скорости релаксации от скорости потока жидкости.

Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей работает следующим образом. Предварительно в остановленном потоке жидкости, когда патрубок находится на уровне сечения измерительной трубы, т.е. перепад давления ($P_T - P_i$) равен нулю, производится замер концентрации W воды в жидкой фазе СКЖ, по которой выбирается соответствующая данной концентрации W зависимость $(T_{2\text{эфф}})^{-1}$ от скорости v_i потока жидкости и оптимальное положение патрубка. При измерении расхода по команде с контроллера патрубок перемещается в положение, соответствующее максимальной крутизне зависимости $(T_{2\text{эфф}})^{-1}$ от скорости v_i потока жидкости.

Далее поток через фланцы поступает в магнит релаксометра ПМР, а именно в зазор полюсных наконечников по немагнитной трубке, на которую намотана катушка индуктивности, по сигналу с которой определяется эффективное время релаксации $T_{2\text{эфф}}$ потока СКЖ, который через фланцы поступает в колено трубы и далее в магистральную трубу. Сигнал ЯМР передается на разъем и по кабелю длиной в четверть резонансной волны ($\lambda/4 = v_0 c$, где c – скорость света) поступает в приемник, на контроллер и по радиоканалу – к диспетчеру. Контроль давления P_i (и соответственно скорости компонент v_i) осуществляется тензометрическими датчиками давления, установленными в коническом расширителе.

Использование предлагаемого устройства для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей с использованием метода ядерного магнитного резонанса позволит исключить расслоение фаз в коническом расширителе измерительной трубы и возможность засорения патрубка пробоотбора асфальтено-смолистыми включениями и механическими примесями, позволит обеспечить эффективную турбулизацию и гомогенизацию потока жидкости в коническом расширителе измерительной трубы, а также автоматизацию измерения.

Список литературы

1. Патент РФ № 2544360 Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш. от 04.12.2013 г. опубл. 20.03.15 Бюл. №8.

2. Патент РФ № 74710, Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш., 10.07.2008.

УДК 621.314

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА

А.С. Хисматуллин¹, Е.В. Сиروتин²

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

E-mail: ¹hism5az@mail.ru, ²katrina.sirotina18@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс хроматографического контроля масляной изоляции трансформатора, являющегося одним из основных оборудования ТЭК и ЖКХ. Авторы рекомендуют применять аппарат нечеткой логики, позволяющей учесть качественную информацию об объекте. Разработана нечеткая база правил.

Ключевые слова: трансформатор, нечеткая логика, хроматографический анализ, топливно-энергетический комплекс.

Учитывая важную значимость топливно-энергетического комплекса, как для экономики республики, так и для страны в целом, разрабатываются системы методы контроля оборудования, применяемого в ТЭК, лишенные недостатков традиционных методов до возможной степени. Поэтому одним из актуальных вопросов развития является вопрос применение интеллектуальных систем. Они позволяют свести к минимуму ошибки, неточности регулирования и оптимизировать систему в целом [1].

Одним из методов применения искусственных систем – применение нечеткой логики, основоположником которой можно считать Л. Заде.

В данной статье мы рассмотрим контроль силовых трансформаторов с масляной изоляцией с применением нечеткой логики.

Трансформаторы являются неотъемлемой частью топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства, т.к. через него идет распределение энергии от источников к потребителям, поэтому аварийное отключение трансформатора крайне нежелательно. Чтобы это предотвратить, необходим постоянный и качественный контроль над состоянием трансформатора [2].

Хроматографический анализ трансформаторного масла, позволяет выявить повреждения трансформатора без его отключения. Суть данного метода заключается в анализе концентрации растворенных газов. Хроматографический анализ позволяет обеспечить достаточно хорошее определение

количественного и качественного содержания газов в масле [3,4]. По результатам этих анализов проводится оценка состояния маслонаполненного оборудования.

Преимущества хроматографического анализа:

- дефекты выявляются на ранней стадии, что позволяет предотвратить поломку трансформатора;
- возможность выявления характера повреждения (качественная концентрация различных газов соответствует различным повреждениям);
- по количественной концентрации можно судить о степени повреждения трансформатора (сопоставляются значения полученной концентрации с граничными значениями) [5, 6].

Таким образом, анализ газов, растворенных в трансформаторном масле, является наиболее эффективным способом для обнаружения и диагноза нарушений в трансформаторе. Качество трансформаторного масла ухудшается при повышении концентрации угарного и углекислого газов.

Этот анализ для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше должен осуществляться не реже одного раза в шесть месяцев [7].

В данной статье рассмотрим хроматографический анализ состояния масляной изоляции.

Виды повреждений масляной изоляции:

- увлажнение;
- примеси;
- повышение температуры [8].

Для анализа состояния масла исследуется концентрация угарного и углекислого газа. Допустимая концентрация газов – 0,002% [9].

Применяя нечеткую логику для анализа состояния масла можно улучшить диагностику трансформатора, т.к. нечеткая логика позволяет интеллектуализировать анализ ошибок – отклонений от заданного значения [10].

Алгоритм хроматографического анализа, основанного на базе нечеткой логики следующий:

- определяются возможные и допустимые значения концентраций угарного и углекислого газов;
- диапазон значений от минимального до максимального каждого входа и выхода разбивается на термы с заданным шагом (в нашем случае на пять множеств);
- в зависимости от принадлежности значений переменных на каждом шаге к тому или иному множеству формируются правила «вход – выход»;

– происходит объединение правил, у которых при изменении входов не влияет на сигнал выхода;

– одинаковые правила объединяются;

– в результате образуется база правил на основе нечеткого логики.

Опишем подробно приведенный алгоритм.

Известно, что концентрация каждого рассматриваемого вещества не должна превышать 0,002%.

Диапазон изменения концентрации от 0 до 0,002% разделим на пять интервалов с шагом в 0,0005. Полученные отрезки составляют нечеткие множества погрешностей концентрации.

Присвоим переменным для концентрации CO₂ следующие названия:

- очень низкая (N1) – соответствует значениям от 0 до 0,0005;
- низкая (N2) – соответствует значениям от 0,0005 до 0,0010;
- средняя (N3) – от 0,0010 до 0,0015;
- повышенная (N4) – от 0,0015 до 0,0020;
- сильно повышенная (N5) – больше 0,002.

Концентрации для CO:

- очень низкая (M1) – соответствует значениям от 0 до 0,0005;
- низкая (M2) – соответствует значениям от 0,0005 до 0,0010;
- средняя (M3) – от 0,0010 до 0,0015;
- повышенная (M4) – от 0,0015 до 0,0020;
- сильно повышенная (M5) – больше 0,002.

Составляется база правил (табл. 1).

Таблица 1

База правил

Концентрации CO	Концентрации CO ₂				
	N1	N2	N3	N4	N5
M1	Y1	Y1	Y2	Y3	Y4
M2	Y2	Y2	Y2	Y3	Y4
M3	Y2	Y3	Y3	Y4	Y4
M4	Y3	Y3	Y4	Y4	Y4
M5	Y4	Y4	Y4	Y4	Y5

По данным из табл. 1 рассчитывается нечёткое множество.

Нечеткие переменные, соответствующие степени повреждения масляной изоляции именуется:

- повреждения отсутствуют (Y1) – количество концентрации соответствуют требованиям;

- низкий (Y2) – незначительные превышения, которые не оказывают влияния на дальнейшую работу;
- средний (Y3) – появление количества газов, не приводящих к повреждению трансформатора;
- высокий (Y4) – повреждение масляной изоляции трансформатора, требующее немедленных технических мероприятий;
- отказ (Y5) – полное повреждение масляной изоляции, приводящее к отказу трансформатора.

Объединяя одинаковые базы правил получим:

- если $CO_2 < 0,001$ и $CO < 0,0005$ – повреждения отсутствуют;
- если $CO_2 < 0,0015$ и $CO < 0,001$ или $CO_2 < 0,0005$ и $CO < 0,0015$ – уровень повреждения низкий;
- если $CO_2 < 0,002$ и $CO < 0,001$ или $CO_2 < 0,0015$ и $CO < 0,002$ или $CO_2 < 0,0005$ и $CO < 0,002$ – уровень повреждения средний;
- если $CO_2 < 0,002$ и $CO < 0,002$ или $CO_2 < 0,0016$ и $CO < 0,002$ – уровень повреждения высокий;
- если $CO_2 \geq 0,0002$ – отказ трансформатора.

Таким образом, оперируя нечёткими множествами и вводя лингвистические переменные, мы разработали алгоритм хроматографического анализа на базе нечеткой логики. Предлагаемый метод позволяет определить степень повреждения масляной изоляции трансформатора, применяя интеллектуальный анализ.

Список литературы

1. Хисматуллин А.С., Вахитов А.Х., Феоктистов А.А. Мониторинг и ремонт промышленных силовых трансформаторов по техническому состоянию // Современные наукоемкие технологии, 2016. – 4–2. – С. 271–274.
2. Баширов М.Г., Грибовский Г.Н., Галлямов Р.У., Гареев И.М., Хисматуллин А.С. Рекомендации по повышению надежности электроснабжения промышленной площадки линейно-производственного управления магистральных газопроводов // Электротехнические системы и комплексы, 2016. – № 2 (31). – С. 23–26.
3. Салиева Л.М., Зайнакова И.Ф., Хуснутдинова И.Г., Баширов М.Г., Хисматуллин А.С. Хроматографический метод оценки технического состояния силовых и масляных трансформаторов // Экологические системы и приборы, 2015. – № 12. – С. 35–41.
4. Хисматуллин А.С., Вахитова А.Р., Сиротина Е.В. Тенденции развития трансформаторостроения // Наука. Технология. Производство, 2017. – С. 361–363.

5. Хисматуллин А.С., Камалов А.Р. Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов // *Фундаментальные исследования*, 2015. – № 6–2. – С. 316–319.

6. Хисматуллин А.С., Хисматуллин А.Г., Буланкин Е.И., Камалов А.Р. Математическое моделирование систем электроснабжения, обеспечивающих безотказную работу // *Современные наукоемкие технологии*, 2016. – № 1-1. – С. 51–54.

7. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностики развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – Москва: ОАО ВНИИЭ, 2001. – 42 с.

8. Чернов, Н.И. Система автоматического контроля наличия и концентрации газов в трансформаторном масле силовых трансформаторов / Н.И. Чернов, А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов // *Тинчуринские чтения*. – 2015. – С. 64-65.

9. Хисматуллин А.С., Вахитов А.Х., Феоктистов А.А. Система охлаждения трансформаторного масла на основе транцилляторного переноса тепла // *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2016. – № 4. – С. 43–46.

10. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. – СПб.: Питер, 2007. – 286 с.

УДК 539.143

ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ РОТОРА БУРОВОГО СТАНКА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ВЯЗКОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА

А.Р. Хусаенов, Р.С. Кашаев¹, О.В. Козелков²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹kashaev2007@yandex.ru, ³ok.1972@list.ru

Аннотация. Возникновение асфальто-смолисто-парафиновых отложений (АСПО) ведет к осложнениям добычи нефти. В связи с этим актуальна задача разработки новых методов проточного экспресс-контроля параметров скважинной жидкости на базе протонного магнитного резонанса (ПМР), который является бесконтактным, не требует подготовки пробы и легко автоматизируем. В работе поставлена задача совершенствования комплекса добычи с помощью УЭЦН для автоматического управления работой скважин, включения/выключения индукционного прогрева призабойной зоны пласта и/или трубопроводов скважины в зависимости от содержания асфальтенов, смол и парафинов, контролируемых от проточного ПМР-анализатора.

Ключевые слова: асфальто-смолисто-парафиновые отложения, проточного экспресс-контроль, протонный магнитный резонанс, параметры скважинной жидкости, индукционный прогрев.

При бурении скважины гидронасосным методом буровой раствор (БР) насосом подается в скважину и его поток вращает винтовой забойный двигатель, если нет отдельного электрического привода. Буровой насос приводится в движение от электропривода (ЭП) – электродвигателя с устройством, регулирующим обороты ротора электродвигателя (ЭД).

Насосом задается рабочее давление БР, который подается на верхний привод (в лебедку), которая под давлением БР приводит в движение ротор, вращающий рабочий инструмент бурения (колонну с долотом). Раствор же подается дальше, внутрь скважины и через долото разрушает почву и вымывает образовавшиеся шлаки на поверхность скважины. При этом, БР просачивается в поры и трещины в стенках скважины и, заполняя их, препятствует уходу воды из раствора в пласт.

БР – один из ключевых составляющих бурового процесса. Как правило, в зависимости от вязкости БР зависит скорость бурения. Если он жидкий, приходится увеличивать мощность насоса для подъема шлама (шлака) на поверхность в отстойник. Либо следует изменить вязкость БР.

Но анализ вязкости осуществляется лаборантом с помощью вискозиметра один раз в сутки и в зависимости от результатов измерения раз в сутки изменяют вязкость БР. Бурение же идет постоянно и поэтому на буровых при снижении вязкости БР просто изменяют (увеличивают) мощность насоса, а не вязкость БР. Для этой операции требуется дополнительный персонал (помощник бурового мастера).

Целью магистерской диссертации является автоматизация процесса бурения путем регулирования частоты вращения ротора ЭД насоса тиристорным преобразователем частоты при изменении вязкости БР.

Одним из таких методов измерения вязкости БР является метод ядерного (протонного) магнитного резонанса (ПМР), который относится к методам квантовой радиофизики. Уникальные возможности ПМР связаны с тем, что квантово-магнитные свойства ядер (протонов) не зависят от морфологии исследуемого объекта, инверсии фаз, и в то же время параметры релаксации протонных фаз коррелируют с физико-химическими свойствами (ФХС) объектов исследования. Теория ПМР хорошо развита, что с успехом может быть использовано для анализа нефти. Экспресс-метод ПМР является бесконтактным, не требует подготовки пробы и автоматизируем, что важно для дистанционного контроля и управления труднодоступных скважин и предупреждения техногенных аварий. Это также один из путей рационального использования природных ресурсов и охраны

окружающей среды. Его эффективность была продемонстрирована в ряде методик, разработанных для лабораторных ПМР-анализов в работах Р.С. Кашаева и О.В. Козелкова [1–6] и имеет перспективу развития при проточном ПМР-анализе.

В этой связи актуально совершенствование комплекса контроля вязкости БР и автоматического управления работой буровых скважин. На основе ПМР-анализатора (ПМРА) при использовании ПМР-метода может быть разработана многофункциональная автоматическая станция интеллектуальной скважины бурения, в качестве прототипа которой может выступать патент РФ № 2085725 [7].

Значимость для практики и науки планируемых результатов исследований заключается в том, что по результатам работ планируется разработка автоматизированных электромеханических систем бурения с применением преобразователей частоты и напряжения и полный автоматизированный контроль параметров буровой жидкости с использованием методик экспресс-контроля единым измерительным аппаратно-программным комплексом на базе метода ПМР.

Список литературы

1. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборостроение и мехатроника в нефтяной промышленности и энергетике: монография. – Изд-во Palmarium academic publishing, Saarbrücken, Germany, 2017. – 110 с.
2. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборы и методы анализа физико-химических свойств нефти. Успехи современного естествознания, ISSN 1681-7494. – 2017. – № 4.
3. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Проточные протонные магнитно-резонансные анализаторы для контроля скважинной жидкости по ГОСТ Р 8.615-2005 ГСИ // Изв. Вузов. Пробл. Энерг., 2017. – № 1–2. – С. 137–151.
4. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Способы и мехатронные комплексы нефтедобычи // Современные наукоемкие технологии, 2017. – № 6. – С. 52–57. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36697>.
5. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Малев Н.А., Кубанго Б.Э. Автоматическое управление УЭЦН используя измерения СКЖ проточным ПМР-анализатором // Изв. Вузов. Пробл. энергетики, 2017. – № 5–6.
6. Кашаев Р.С., Кубанго Б.Э. Проточные ПМР-анализаторы для контроля скважинной жидкости: монография. Изд. Юком. ISBN 978-5-4480-0076-8, DOI:1017117/mon 2016.11, Ucom.ru/mon.
7. Патент РФ №2085725 *E21B 36/04, E21B 37/06*. Авт. Малюга А.Г. от 27.07.1997.

УДК 620.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Г.Р. Шарафутдинова, А.А. Гимазетдинов

Научный руководитель – к.т.н., доцент, зав. каф. ПМ О.В. Козелков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Аннотация. Приведены основные положения методики сравнительной оценки эффективности средств неразрушающего контроля и диагностики на ранних стадиях их внедрения или разработки (в условиях неопределённостей).

Ключевые слова: показатели качества, система показателей, информационная ситуация, техническая характеристика, критерий.

При внедрении средств неразрушающего контроля и диагностики и обосновании стоимостных показателей возникает необходимость согласования их значений с требованиями к другим показателям качества (назначения, надежности, стандартизации и унификации и др.). Данную проблему на ранних стадиях внедрения или разработки (в условиях неопределенностей) целесообразно решать методами сравнительной оценки вариантов изделий.

Имеется несколько сравниваемых между собой расчетных случаев. Каждый расчетный случай может быть охарактеризован определенным набором исходных данных. Степень расчетных случаев должна допускать формирование исходных данных и соответствующих моделей расчета показателей эффективности (полезности).

Любая система расчетных случаев может быть оценена по совокупности факторов, определяющих предпочтительность (значимость) того или иного расчетного случая. На ранних стадиях исследований предпочтительность расчетного случая с позиций учета одного фактора может быть определена рангом (порядковым номером, который получает каждый расчетный случай при расстановке их в порядке предпочтения с позиций оценки данного фактора). В целом при таком системном анализе не может быть надежных способов контроля полноты учета всех факторов, определяющих «вес» или предпочтительность расчетных случаев.

Секция 2

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ

Председатель

О.В. Козелков – к.т.н., заведующий кафедрой ПМ ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Секретарь

О.В. Цветкова – м.т.т., инженер кафедры ПМ ФГБОУ ВО «КГЭУ»

УДК 621.311

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ ВИАНА, РЕСПУБЛИКА АНГОЛА

П.М. Альберто¹, Т.В. Лопухова²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹pmorais82@mail.ru, ²lopuhovatv@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается дистанционная диагностика внешней изоляции электрической подстанций Виана напряжением 400/220 кВ.

Ключевые слова: диагностика, внешняя изоляция подстанций, инфракрасное излучение, тепловизор.

Введение

В процессе эксплуатации воздушных линий электропередачи и электрических подстанций, необходимо провести диагностику всего электрического оборудования в ВЛ и РУ. Объекты диагностики – открытые и закрытые распределительные устройства (выключатели, силовые и измерительные трансформаторы, разрядники, разъединители, кабели, сборные и соединительные шины, токоограничивающие сухие реакторы, батареи силовых конденсаторов, ограничители перенапряжений, высокочастотные заградители, вторичные цепи и электропроводка, вводы трансформаторов и МВ, силовые тиристоры и диоды т.д.).

Электрические изоляторы и сооружения из них представляют собой самостоятельные конструкции, используемые в распределительных устройствах, на линиях электропередачи или в электротехнических установках различного рода, а также конструкции, входящие в состав многих электрических аппаратов. Во всех случаях изоляторы выполняют определённые функции: с их помощью осуществляются механическое крепление токоведущих частей, работающих под высоким напряжением, в некоторых случаях передаётся механическое движение.

Основные характеристики изоляторов: габариты, масса, стоимость – существенно влияют на общие технико-экономические показатели установки в целом.

В любом изоляторе или изоляционной конструкции можно выделить:

а) внешнюю изоляцию – изоляционные промежутки в атмосферном воздухе, в том числе и промежутки вдоль поверхностей изоляторов;

б) внутреннюю изоляцию – изоляционные промежутки заполненные газообразными, жидкими или твёрдыми диэлектрическими материалами или их комбинации, но не атмосферным воздухом.

Существует несколько способов диагностики внешней изоляции. Наше исследование посвящено применению тепловизионной диагностики для оценки состояния изоляции подстанций и линий электропередачи.

Физические основы тепловизионной диагностики высоковольтного оборудования

Инфракрасное (ИК) излучение испускается всеми телами при температуре отличной от абсолютного нуля. Электромагнитное излучение инфракрасного спектра при поглощении телами превращается в тепловую энергию. Тепловой эффект является только результатом поглощения ИК-лучей и не составляет их специфического признака. Области спектра ИК-излучения принято делить на четыре части: 1) ближняя – от 0,76 до 3 мкм; 2) средняя – от 3 до 6 мкм; 3) дальняя – от 6 до 15 мкм; 4) очень далекая – от 15 до 1000 мкм. Это связано с особенностями прохождения ИК-лучей через атмосферу, т.е. атмосфера поглощает или ослабляет излучение определённых частей спектра.

Спектральное распределение поверхностной плотности потока излучения чёрного тела (закон Планка)

Длина волны максимального излучения λ обратно пропорциональна абсолютной температуре тела T :

$$\lambda = \frac{2898}{T},$$

где 2898 – постоянная Вина, мкм·К; T – абсолютная температура, К.

Суммарную плотность излучения абсолютно черного тела (АЧТ) R определяют по закону Стефана–Больцмана:

$$R = \sigma T^4,$$

где T – температура АЧТ, К; $\sigma = 5,6697 \pm 0,0029$, Вт/(м² · К⁴).

Примечание: АЧТ в природе не существует, но многие тела в определённом спектре излучения можно рассматривать как АЧТ (например: поверхность, покрытая сажей).

Методы и способы экспериментального исследования

Тепловизоры принимают ИК-излучение и преобразуют в видимое на индикаторе. Другими словами, происходит визуализация теплового поля объекта. Современные тепловизоры по конструкции аналогичны видеокамерам [1].

При проведении тепловизионного обследования электрооборудования существенное значение имеет выявление и устранение систематических и случайных погрешностей, оказывающих влияние на результате измерения [2, 3].

Систематические погрешности заключены в конструкции измерительного прибора и зависят от его выбора в соответствии с требованиями к совершенству измерения (разрешающей способности, поля наблюдения).

Случайными погрешностями, возникающими при проведении ИК-контроля, могут являться: воздействие солнечной радиации, ветра, а также излучательная способность и др.

Солнечная радиация нагревает контролируемый объект и при наличии участков (узлов) с хорошей отражательной способностью создаёт впечатление о наличии высоких температур в местах измерения. Эти явления особенно проявляются при использовании ИК-приборов со спектральным диапазоном 2–5 мкм. Для исключения влияния солнечной радиации рекомендуется осуществлять ИК-контроль в ночное время суток или в облачную погоду.

Если ИК-контроль осуществляется на открытом воздухе, необходимо принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта (контактного соединения). Так, превышение температуры, измеренное при ветре 5 м/с будет примерно в два раза ниже, чем измеренное при скорости ветра 1 м/с. В диапазоне скоростей 1–7 м/с справедлива формула:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448},$$

где ΔT_1 и ΔT_2 – превышение температур при скоростях ветра V_1 и V_2 соответственно.

Температура токоведущего узла (контактного соединения) зависит от нагрузки и прямо пропорциональна квадрату тока, проходящего через контролируемый участок:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|^2,$$

где ΔT_1 и ΔT_2 – превышение температур при скоростях ветра I_1 и I_2 соответственно.

При переменной токовой нагрузке приходится считаться с тепловой инерцией контролируемого объекта. Так, тепловая постоянная времени для контактных узлов аппаратов составляет примерно 20–30 мин, поэтому при определении по амперметру тока нагрузки контролируемого присоединения следует учитывать кратковременные броски тока, связанные с коммутационными процессами или режимом работы потребителя.

Дождь, туман и мокрый снег в значительной степени охлаждают поверхность объекта, измеряемого с помощью ИК-прибора и в определённой мере рассеивают инфракрасное излучение каплями воды. Инфракрасный контроль допускается проводить при небольшом снегопаде с сухим снегом или лёгком морозящем дожде.

При работе с ИК-приборами вблизи шин генераторного напряжения, реакторов и вообще в электроустановках с большими рабочими токами приходится сталкиваться с проблемой защиты ИК-прибора от влияния магнитного поля.

При проведении ИК-диагностики в электроустановках приходится считаться с возможностью ложного восприятия нагрева в результате коронирования объекта. Особенно сильно это влияние сказывается при применении тепловизоров с нижним спектральным диапазоном 2 мкм, что обусловлено близостью нижнего уровня спектра волны тепловизора к спектру возникновения короны (около 1 мкм).

При ИК-контроле имеет значение точность определения излучательной способности объекта.

При измерении инфракрасного излучения объекта возможно присутствие трёх составляющих:

- 1) собственное излучения объекта (T_0);
- 2) инфракрасное излучение отражённое от объекта, испускаемое окружающей средой (T_{cp});
- 3) излучение фона, на котором осуществляется контроль объекта (T_{ϕ}).

В процессе диагностирования мы руководствовались общими методическими рекомендациями при выявлении дефектов высоковольтного оборудования [5].

1. Тепловизионный приёмник должен принимать ИК-излучение дальней части спектра 8–14 мкм.

2. Измерение необходимо производить при отсутствии прямого солнечного излучения, тумана, дождя.

3. Необходимо учитывать коэффициент излучения поверхности исследуемого объекта, а также угол между осью тепловизионного приёмника и нормалью к излучающей поверхности.

Экспериментальное исследование

Проведенные нами тепловизионные диагностические процедуры были сделаны на самой большой подстанции Республики Ангола, в городе Луанда в районе Виана на ОРУ 220 кВ.

В нашу задачу входило диагностическое исследование с помощью тепловизора состояния опорных изоляторов разъединителей и вводов трансформатора тока САМ-II.

На рис. 1 представлено тепловизионное изображение-термограмма ошиновки, ножей и опорных изоляторов разъединителя 220 кВ. На этом изображении хорошо видно, что на зажимах разъединителя фаз А и В, крепящих ошиновку подстанции к механизму ножей разъединителя происходит значительный нагрев. Несколько меньший нагрев регистрируется на фазе С. Это говорит о плохом контактном соединении, которое может привести в дальнейшем к отсоединению ошиновки и падению провода на заземленные части конструкции и к короткому замыканию на подстанции.



Рис. 1. Нагрев контактов на зажимах разъединителя

Короткое замыкание на такой ответственной подстанции, как Виана, может привести к общему отключению подстанции и нарушению электроснабжения ответственных потребителей на время, необходимое для восстановления нормальной работы подстанции. В табл. 1 представлена аннотация термограммы. В табл. 2 указаны основные параметры измерения на фазах А и В.

Таблица 1

Аннотация термограммы

Фирма	Национальные Сети Транспортировки (RNT)
Место	Ангола, Луанда, подстанция Виана
Электрооборудование	Разъединитель
Нагрузка, МВт	104
Проблема	Нагрев на зажиме
Опасность дефекта	Средняя. Возможно устранение дефекта
Категория	Ближе к следующему общему отключению

Таблица 2

Основные параметры изображения

Точка контроля	Температуры, °С		
	средняя	минимальная	максимальная
Фаза А	~ 32,6	~ 24,4	~ 61,1
Фаза В	~ 34,5	~ 24,8	~ 58,6

Тепловизионное обследование вводов трансформатора тока САМ-II показало, что на зажимах верхних фланцев вводов наблюдается недопустимый нагрев контактов. Особенно заметен нагрев на фазе С (рис. 2).

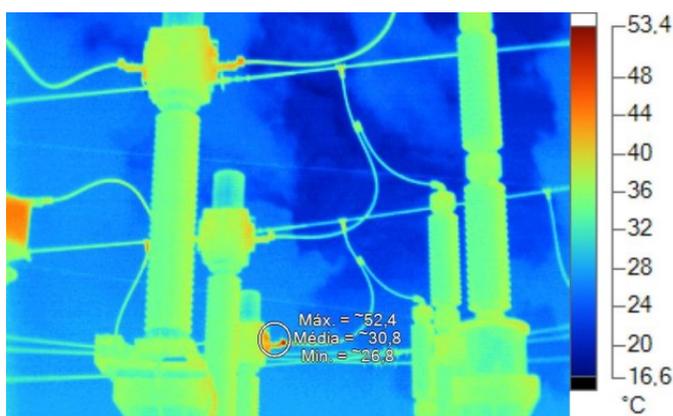


Рис. 2 Нагрев на зажимах ошиновки трансформатора тока

Повышенный нагрев контактов говорит о плохом механическом креплении зажимов. Это может привести к дальнейшему ослаблению крепления и падению ошиновки на заземленные части. Как и в случае с дефектом зажимов у разъединителя, это может привести к отключению подстанции и в дальнейшем к системной аварии.

В табл. 3 приведена аннотация термограммы вводов трансформатора тока, в табл. 4 указаны основные параметры измерения температуры на зажимах наиболее нагретой фазы С.

Таблица 3

Аннотация изображения

Фирма	Национальные Сети Транспортировки (RNT)
Место	Ангола, Луанда, подстанция Виана
Электрооборудование	Трансформатор тока
Нагрузка, МВт	104
Проблема	Зажим
Опасность дефекта	Средняя. Возможно устранение дефекта
Категория	Ближе к следующему общему отключению

Таблица 4

Основные параметры изображения

Точка контроля	Температуры, °С		
	средняя	минимальная	максимальная
Фаза С	~ 30,8	~ 26,8	~ 52,4

Дистанционная диагностика

Очень важным фактором в проведении тепловизионной диагностики является то, что она является дистанционной. В этом случае обеспечиваются такие преимущества, как:

- бесперебойность питания потребителей во время диагностических процедур;

- безопасность работы персонала, осуществляющего диагностику, так как исключается необходимость приближения к оборудованию, находящемуся под напряжением, и специальных защитных мероприятий (ограждения, изолирующих щитов и т.п.);

- возможность проведения тепловизионного контроля по усмотрению специалистов подстанции («текущего контроля» или «контроля по требованию»), а не только по жестко регламентированным срокам.

На рис. 3 схематически представлен принцип организации системы дистанционной диагностики.

Принцип организации системы дистанционной диагностики

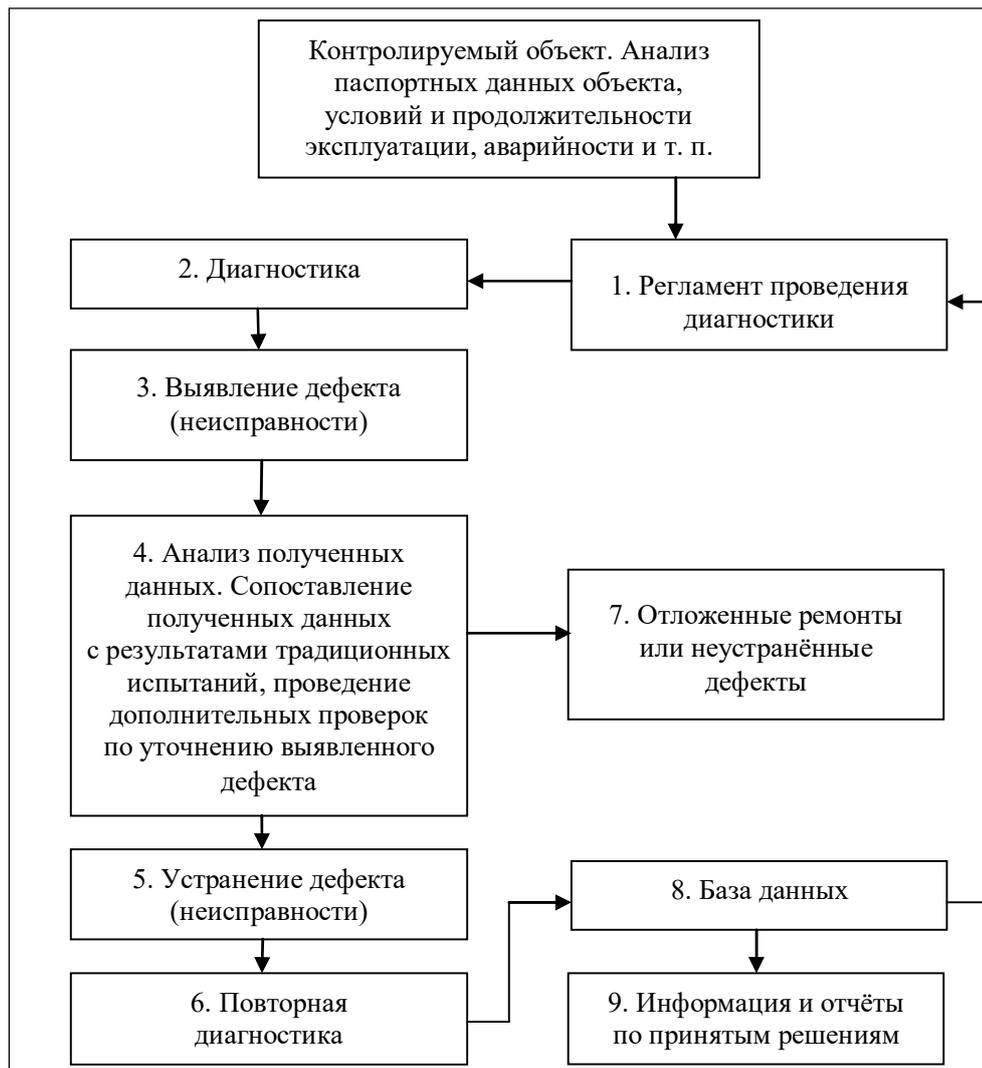


Рис. 3 Схема системы дистанционной диагностики

Заключение

Тепловизионный контроль является способом выявления дефектов электрооборудования без вывода его из работы. При этом раннее выявление дефектов даст возможность своевременно их устранить. Становится возможным вывести в ремонт на короткий срок разъединитель или трансформатор тока, используя возможности резервных схем на подстанции, и свести к минимуму или исключить вовсе перерывы в электроснабжении потребителей.

Использование способов диагностики и мониторинга при помощи тепловизора может обеспечить бесперебойное питание электроснабжения и продление срока службы электроустановки.

Список литературы

1. Обложин В.А. Контроль подвесной изоляции тепловизором // «Электрические станции», 1999. – №11.
2. Алеев Р.М., Зарипов Д.К., Лопухова Т.В. Возможности методов дистанционной диагностики состояния подвесной изоляции. Российский национальный симпозиум по энергетике, 10-14 сентября 2001: Материалы докладов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2001. – Т. 2. – С. 123.
3. Алеев Р. М., Зарипов Д.К., Лопухова Т.В. Комплексный подход к дистанционной диагностике состояния подвесной изоляции // Известия вузов «Проблемы энергетике», 2004. – № 3–4. – С. 78–86.
4. Михеев Г.М. Диагностика и контроль электрооборудования «Москва Додэка-XXI», 2010.
5. Крупенин Н.В., Голубев А.В., Завидей В.И., Вихров М.А. Опыт применения электронно-оптических приборов при контроле технического состояния энергетического оборудования. Сборник научных трудов ВЭИ, под общей редакцией д.т.н. В.Д. Ковалёва, Москва, 2008 г.

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ БАССЕЙНА

А.Д. Баширова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: Bashirovalina.16gmail.com

Аннотация. Расчет и моделирование системы трехходового клапана в среде MatLabSimulink. Синтез интегро-дифференцирующего аналогового фильтра. Последовательная коррекция ССДМ трехходового клапана с применением дифференцирующего контура первого порядка.

Ключевые слова: микродвигатель, интегро-дифференцирующий аналоговый фильтр, дифференцирующий контур первого порядка, измерительная система, датчик температуры, трехходовой клапан.

Современные вентиляционные системы бассейнов предполагают использование комплекса измерительных средств, обеспечивающих тепловой баланс с учетом параметров окружающей среды.

Помещение бассейна, оснащенное оптимальным оборудованием, позволяет решить задачи круглосуточного управления внутренним микроклиматом в любое время года, а также организовать эффективный воздухообмен.

В докладе рассматривается конструкция узла обвязки воздухонагревателя, в котором присутствует трехходовой клапан для смешивания потоков рабочей среды с различными температурами, при этом регулируя температуру воды на подаче в теплообменник и обеспечивая ее требуемое значение в зависимости от сигналов задания с датчиков температуры.

В докладе показана структурная схема системы, приведен расчет основных элементов, в том числе:

- выбран асинхронный исполнительный двигатель;
- произведен расчет вращающего момента на выходе ременного редуктора;
- рассчитан коэффициент передачи датчика положения;
- определены передаточные функции двигателя и усилителя мощности;
- получена передаточная функция асинхронного исполнительного двигателя [1].

С целью обеспечения плавности передвижения штока клапана была проведена последовательная коррекция ССДМ трехходового клапана с применением дифференцирующего контура первого порядка, а также получена передаточная функция аналогового фильтра [2].

В дальнейшем предполагается применение цифровых технологий в компенсационной измерительной схеме при измерении температур и энкодера (цифрового датчика положения штока) для фиксации положения трехходового клапана, а также проведение анализа датчиков температуры внешней среды и выбор наиболее перспективного.

Список литературы

1. Погодицкий О.В., Малёв Н.А., Ахунов Д.Д., Цветков А.Н. Расчёт и моделирование электроприводов с регуляторами различной конфигурации: Лабораторный практикум. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 156 с.
2. Малев Н.А. Расчет и исследование астатического электропривода малой мощности: практикум. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. – 112 с.

УДК 621.311.22(045)

ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СО И СО₂ В ВЫБРОСАХ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ С ИОНИЗАЦИЕЙ ИССЛЕДУЕМОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

А.Ю. Быкова¹, Г.Ю. Новиков²

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
E-mail: ¹ali5994@yandex.ru, ²novikova.k01@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена экспериментальная модель газоаналитического датчика, в котором исследуемая газовая смесь ионизируется в объёмном барьерном разряде при атмосферном давлении. Информацию о концентрации примесей СО и СО₂ получают, измеряя интегральную величину заряда переносимого в датчике.

Ключевые слова: газоаналитический датчик, барьерный разряд, выбросы ТЭС.

Существенными компонентами загрязнения окружающей среды в выбросах ТЭС и котельных являются диоксид и оксид углеводорода СО₂, СО. Несмотря на значительное количество приборов, используемых для их определения, сохраняется потребность в создании газоаналитических датчиков, работающих при атмосферном давлении в большом диапазоне температур анализируемых газовых смесей, обеспечивающих высокую точность и большой диапазон измерений, технологически простых и надежных [1].

Нами был предложен способ газового анализа с импульсной ионизацией исследуемой газовой смеси в импульсном барьерном разряде при атмосферном давлении. Барьерным называется разряд между электродами, если хотя бы на один из них нанесено диэлектрическое покрытие. На экспериментальной модели датчика был получен разряд на атмосферном воздухе. Он носил объемный характер и являлся стабильным. Функциональная схема экспериментальной модели газоаналитического датчика приведена на рис. 1.

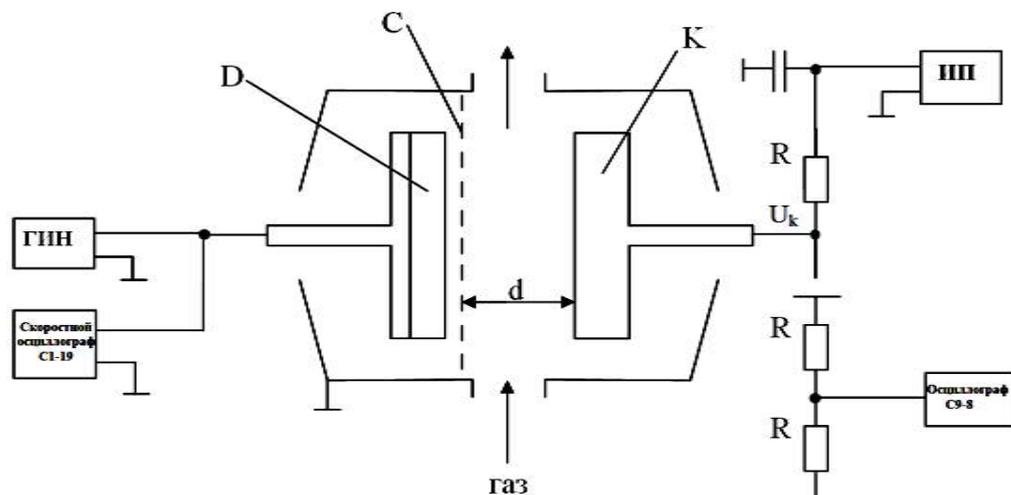


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной модели газоаналитического датчика

В состав датчика входят разрядная и дрейфовая камеры. В разрядной камере расположен диэлектрический электрод (D) и заземленная сетка (С), между ними возникает барьерный разряд при подаче высоковольтного импульса с ГИН на диэлектрический электрод. Дрейфовая камера находится между сеткой и коллектором (К) – медным электродом, на который подаётся постоянное отрицательное напряжение амплитудой 2-4 кВ с ИП. При этом в камере возникает электрическое поле, под действием которого в неё вытягиваются положительные ионы из разрядного промежутка и дрейфуют в направлении коллектора, что сопровождается наведением тока в его цепи. Осциллограмма этого тока снималась с осциллографа С9-8. Исследуемая газовая смесь прокачивалась через разрядную камеру с постоянной скоростью.

Амплитуда разрядного тока составляла величину порядка 40 А, время нарастания тока ~1 нс, длительность импульса 40–50 нс. Интегральный заряд, переносимый в разрядном промежутке, составлял величину $\sim 10^{-6}$ Кл, он изменялся в зависимости от концентрации в исследуемой газовой смеси примесей СО и СО₂.

Исследования, выполненные на модели датчика, позволили определить в атмосферном воздухе примеси СО в диапазоне концентраций 0–1% и СО₂ в диапазоне 1–2%.

Список литературы

1. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 284 с.

УДК 621.313.333

УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А.А. Гимазетдинов, Г.Р. Шарафутдинова

Научный руководитель – к.т.н., доц., зав. каф. О.В. Козелков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные устройства для защиты асинхронных электродвигателей. Более подробно рассмотрен универсальный блок защиты (УБЗ).

Ключевые слова: защита электродвигателя, УБЗ, устройства защиты.

В настоящее время, трехфазные асинхронные электродвигатели являются основным преобразователем электрической энергии в механическую. Своему широкому распространению данные устройства обязаны

невысокой стоимостью и высоким КПД. Несмотря на невысокую стоимость двигателей, зачастую даже кратковременный простой двигателя приводит к большим производственным потерям, поэтому в настоящее время на электротехническом рынке появляется все больше устройств, обеспечивающих их защиту от повреждений, связанных с работой при повышенных нагрузках или неисправностях в питающей цепи.

На данный момент наиболее распространены следующие типы защитного оборудования для трехфазных электродвигателей: тепловое реле, мотор-автоматы, автоматические выключатели, реле контроля фаз и напряжения, универсальный блок защиты.

УБЗ защищает от всех видов аварий, включая сетевые аварии. Предназначен для постоянного контроля параметров сетевого напряжения и действующих значений фазных/линейных токов трехфазного электрооборудования 380 В/50 Гц, в первую очередь асинхронных электродвигателей, в т.ч. и в сетях с изолированной нейтралью.

Осуществляет полную и эффективную защиту электрооборудования путем отключения с последующим автоматическим включением или блокировкой повторного пуска в следующих случаях: некачественном сетевом напряжении (обрыв, перекос фаз, недопустимые скачки и провалы напряжения, нарушение чередования, слипание фаз); симметричный перегруз по фазным (линейным) токам, вызванный механическими перегрузками; несимметричный перегруз по фазным (линейным) токам, связанный с повреждением внутри двигателя; несимметрия фазных токов без перегруза, связанная с нарушением изоляции внутри двигателя и/или подводящего кабеля; защита по минимальному пусковому рабочему току – исчезновение момента на валу двигателя («сухой ход» для насосов); проверка уровня сопротивления изоляции обмоток двигателя на корпус до пуска (при уровне менее 0,5 МОм – блокировка).

Работа направлена на изучение устройств защиты асинхронных электродвигателей. Подробно рассмотрено устройство УБЗ.

УДК 658.26:620.92

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Э.И. Гиниятуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: engegin95@mail.ru

Ключевой государственной программой для развития ВИЭ и других видов энергетики является Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Этот документ должен являться дорожной картой реализации

энергетической политики государства. Каждое предприятие, занимающееся производственной деятельностью, заинтересовано в энергосберегающих технологиях, обеспечивающих его энергоэффективность.

Одним из путей решения этой задачи выступает разработка технологий энергоэффективного функционирования производственных предприятий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В настоящее время во многих странах мира (в том числе развитых и обладающих атомной энергией) все большее внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). При этом исследуются возможности использования энергии солнца, ветра, рек, приливов, а также переработки различных видов биомасс в биоэнергию и др. К числу наиболее научно обоснованных и доказавших на практике свою состоятельность, являются научно-технические решения по использованию ветровой, солнечной и биогазовой энергии. К тому же использование этих видов энергии является наиболее экологичным.

С другой стороны, литературный анализ показал, что применение ВИЭ для автономного энергоснабжения предприятий, занимающихся производственной деятельностью и нуждающихся в снижении энергозатрат, не обоснован и не исследован.

Повышение энергоэффективности предприятий, занимающихся производственной деятельностью на основе использования ВИЭ, находящихся в природе в естественном состоянии и не создающих экологических проблем, является актуальной задачей.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Е.И. Грачева¹, А.Н. Алимова²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹grachieva.i@bk.ru, ²aan-678@rambler.ru

Аннотация. Представлено сравнительное исследование и анализ некоторых методов расчета потерь электроэнергии с выявлением основных достоинств и недостатков, присущих каждому из рассматриваемых методов. Предложена классификация основных детерминированных и вероятностно-статистических методов оценки потерь электроэнергии. Определены области использования методов расчета потерь в зависимости от исходной информации, принятых допущений и возможных ожидаемых погрешностей расчета. Разработаны рекомендации по применению вероятностных и детерминированных методов.

Ключевые слова: потери электроэнергии; детерминированные методы; вероятностно-статистические методы; достоинства и недостатки; погрешности расчетов.

В связи с развитием рыночных отношений в области электроэнергетики значимость проблемы определения потерь электроэнергии заметно возросла, так как стоимость потерь является одной из составляющих тарифа на электроэнергию (ЭЭ). Точное определение уровня потерь ЭЭ является одной из важных составляющих общего комплекса энергосберегающих мероприятий на промышленном предприятии.

Цель анализа состоит в выявлении основных достоинств и недостатков некоторых методов определения потерь ЭЭ в сетях промышленного электроснабжения, а также в классификации данных методов в зависимости от объема исходной информации и режима ее получения.

Задачей исследования является сравнительный анализ методов определения потерь ЭЭ, составление их классификации, выявление достоинств и недостатков данных методов, выдача рекомендаций по применению тех или иных методов расчёта, а также определение области применения рассмотренных методов определения потерь ЭЭ в зависимости от исходной информации, принятых допущений и возможных ожидаемых погрешности расчёта.

На данный момент можно выделить следующие два способа определения расходов ЭЭ в промышленных сетях 0,4 кВ – это расчётный и экспериментальный. Экспериментальный способ определения расхода ЭЭ не пользуется популярностью, так как имеет ряд недостатков [2, 3]:

- для достижения результата необходима установка значительного количества измерительных комплексов (ИК);
- трудоемкость процесса получения информации;
- длительность исследований;
- неустойчивость результатов при модернизации оборудования;
- относительно большие материальные затраты;
- необходимость обработки полученных данных;
- погрешность измерительных приборов и ИК;
- погрешность снятия показаний (человеческий фактор).

Таким образом, широкое распространение получили расчётные методы определения нагрузочных потерь ЭЭ. Предлагаемая классификация методов расчёта потерь ЭЭ приведена на рис. 1.

Выделяют детерминированные и вероятностно-статистические методы расчёта потерь ЭЭ в сетях промышленного электроснабжения 0,4 кВ. К детерминированным относятся следующие методы:

1. Метод поэлементного расчёта [1] использует следующую формулу:

$$\Delta W_H = 3 \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k R_i \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{ij}^2, \quad (1)$$

где k – число элементов сети; I_{ij} – токовая нагрузка элемента сопротивлением R_i в момент времени j ; Δt – периодичность опроса датчиков, фиксирующих токовые нагрузки элементов.

Исходная информация поступает по данным телеизмерений. Наиболее сложной и неоднозначной проблемой формирования исходной информации является определение независимых параметров текущего режима сети, что связано с проблемой оснащения устройствами телеметрии всех потребителей ЭЭ. То есть реализация поэлементного расчёта в реальном времени возможна только в случае автоматизации расчёта потерь мощности и ЭЭ в сетях 0,4 кВ. Однако данный метод позволяет получить наиболее достоверные результаты, так как учитывает характер изменением параметров режима.

2. Метод по времени наибольших потерь τ использует следующую формулу [1–3]:

$$\Delta W_H = \tau \cdot \Delta P_{\text{нб}}, \quad (2)$$

где ΔP – потери мощности в режиме максимальной нагрузки сети; τ – время наибольших потерь.

Этот метод основан на расчёте потерь мощности в одном режиме максимальной нагрузки и умножение значение на число часов максимальных потерь τ . Значения τ рассчитывается по графику нагрузки. Процесс расчёта данным методом не связан по времени с реальным режимом сети, что позволяет решать задачи анализа потерь, выбора мероприятий по их снижению, разработке нормативной характеристика потерь ЭЭ.

3. Метод средних нагрузок является одним из информационно-достоверных методов определения потерь ЭЭ [4]. Технологически он близок к методу τ и исходит из определения потерь мощности только в одном режиме средних нагрузок. Потери ЭЭ определяются по формуле:

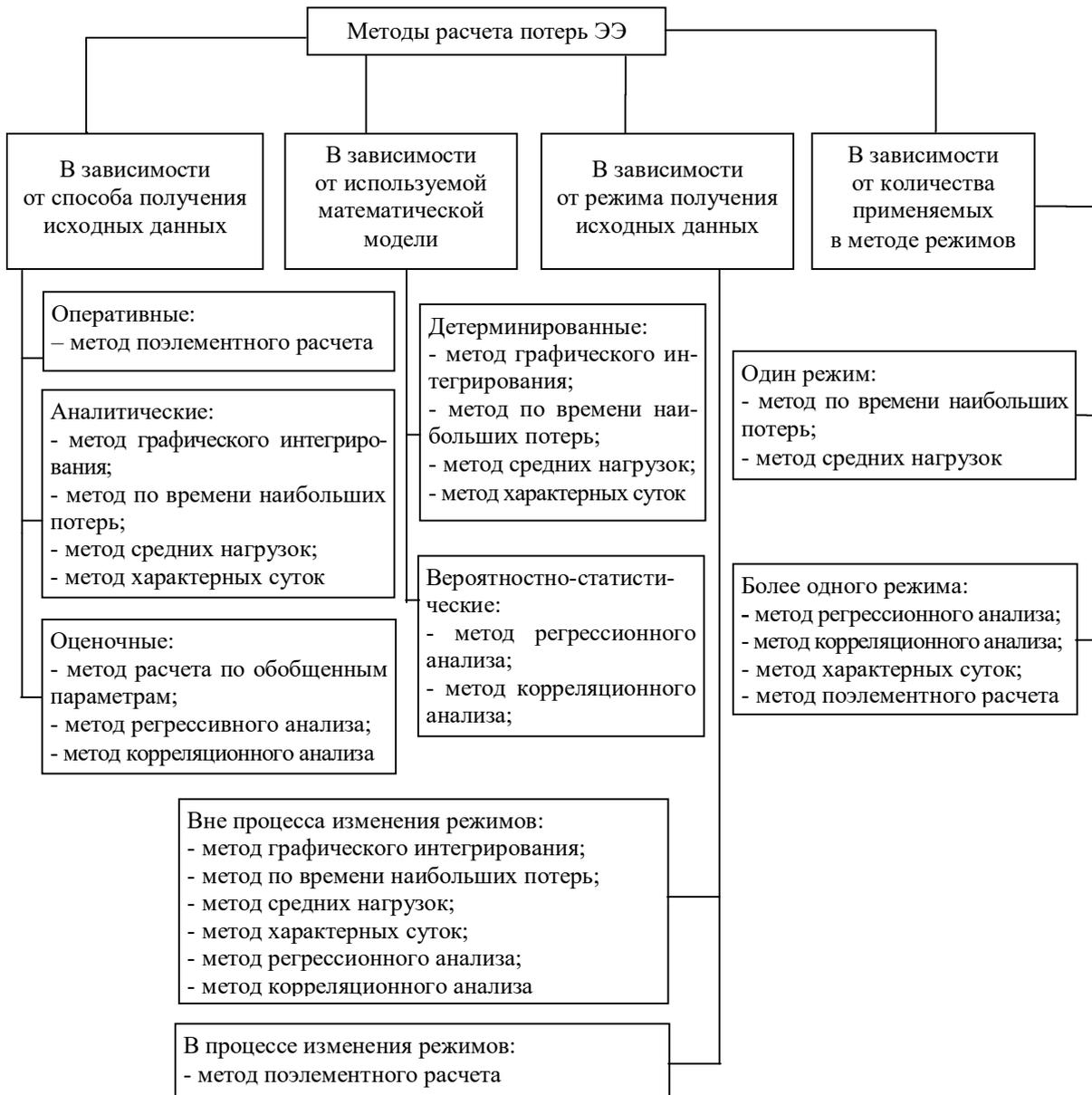
$$\Delta W_H = T \cdot \Delta P_{\text{ср}} \cdot k_{\text{ф}}^2, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{ср}}$ – потери мощности в сети при средних нагрузках узлов (или сети в целом) за время T ; $k_{\text{ср}}$ – коэффициент формы графика мощности или тока.

4. Метод характерных суток используют те же данные, что и метод средних нагрузок, а также данные замеров суточных графиков нагрузки в узлах в зимний и(или) летний день контрольных замеров [4]. Потери ЭЭ определяется по следующей формуле:

$$\Delta W_H = \sum_{i=1}^m \Delta W_{\text{ни}}^{\text{C}} \cdot D_{\text{эки}}, \quad (4)$$

где m – число характерных суток, потери ЭЭ за каждым из которых, рассчитанные по известным значениям графика нагрузки в узлах сети, составляют ΔW_{ni}^C ; $D_{эки}$ – эквивалентная продолжительность в году i -го характерного графика (число суток).



Классификация методов расчета потерь электроэнергии

Достоинством данного метода является достоверность исходной информации, так как данные посуточного энергопотребления регистрируются на уровне диспетчерской службы.

5. Метод расчёта по обобщенным параметрам сети заключается в расчёте потерь ЭЭ на основе зависимостей потерь от суммарной длины и количества линий, а также суммарной мощности, полученных на основе проектной документации или статистических данных [1].

$$\Delta W_F = 9,3 \cdot \frac{W_F^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot k_\Phi^2 \cdot L_F \varphi}{N_F \cdot D \cdot F} \cdot k_{\text{нсс}} \cdot k_{\text{отв}} \cdot k_L \cdot k_N, \quad (5)$$

где ΔW_F – суммарная энергия, отпускаемая в N_F линии сечением головных участков F и суммарной длиной L_F за D дней; k_Φ^2 – коэффициент формы графика нагрузки; k_N – повышающий коэффициент, учитывающий неодинаковость плотностей тока на головных участках различных линий; k_L – коэффициент, учитывающий влияние на потери распределенности нагрузок вдоль линии; $k_{\text{нсс}}$ – коэффициент увеличения потери явления с несимметричной нагрузкой фаз; $k_{\text{отв}}$ – коэффициент, учитывающий наличие ответвлений.

Среди вероятностно-статистических можно выделить следующие наиболее распространённые методы определения потерь ЭЭ:

1. Метод регрессионного анализа [3].

В данном методе необходим исходный объем статистической информации о потерях и воздействующих факторах, также необходимы параметры элементов сети и параметры режима. Расчёт потерь ЭЭ производится на основании суммирования почасовых значений потерь мощности и определяется по выражению:

$$\Delta W_{\Delta T} = \sum_{i=1}^{\Delta T/\Delta t} \Delta P_i \cdot \Delta t = b_0 \cdot \Delta t + \sum_{k=1}^{\Phi} b_k \cdot W_k + \sum_{k=1}^{\Phi} b_{kk} \cdot \sum_{i=1}^{\Delta T/\Delta t} P_{ki}^2 \cdot \Delta t_i, \quad (6)$$

где $\Delta W_{\Delta T}$ – потери ЭЭ за время ΔT ; Δt – интервал замера, обычный равный одному часу; W_k – ЭЭ за период ΔT для k -го фактора, входящего в уравнение регрессии; ΔP_i – потери мощности в i -й час; P_{kj} – мощность для k -го фактора в i -й час расчётного периода; b_0, b_k, b_{kk} – коэффициенты уравнения регрессии; Φ – число факторов.

Метод регрессионного анализа позволяет получить уравнения регрессии, связывающие потери с воздействующими факторами. Недостатком является то, что информация о параметрах режима является неполной и ограниченно-достоверной (аппаратура, на которой производятся замеры, дает определённую погрешность; замеры производятся не одновременно на всех подстанциях).

2. Метод корреляционной связи [3].

Исходными данными являются основные влияющие факторы, их число, статистические данные. Данный метод основан на уравнении корреляционной связи:

$$\Delta W = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_m X_m + \varepsilon, \quad (7)$$

где m – число основных влияющих факторов; X – влияющие факторы; ε – доля потерь ЭЭ, зависящая от второстепенных факторов.

Данный метод позволяет выявить четыре-пять основных влияющих факторов. Влияя на данные значимые факторы (т.е. проводя мероприятия по снижению потерь ЭЭ), можно добиться снижения потерь ЭЭ.

3. Метод случайной выборки [3].

Потери ЭЭ во всех N линиях определяют по формуле:

$$M[\Delta W_N] = N \cdot M[\Delta W_1], \quad (8)$$

где $M[\Delta W_1]$ – математическое ожидание потерь в одной линии.

Данный метод используется, например, при необходимости определения суммарных потерь в N линиях на основании непосредственного расчета потерь только в части из них. При этом общее число линий называют генеральной совокупностью, а рассчитываемую часть – выборкой. Задача формулируется следующим образом: определить минимальный объем выборки, достаточный для определения математического ожидания потерь с заданной точностью и достоверностью.

Достоинства и недостатки некоторых методов определения потерь ЭЭ представлены в таблице [5, 6].

Достоинства и недостатки методов расчета потерь

Метод расчета потерь электроэнергии	Достоинства	Недостатки
Детерминированные методы		
Метод поэлементного расчета	Позволяет учитывать характер изменения параметров режима, а также позволяет получить наиболее достоверные результаты	Необходимо оснащение устройствами всех потребителей ЭЭ, невозможен учет фактического сопротивления проводов
Метод по времени наибольших потерь	Позволяет решать задачи анализа потерь, выбора мероприятий по их снижению, разработки нормативных характеристик потерь ЭЭ	Низкая достоверность в определении τ
Метод средних нагрузок	Позволяет учесть форму графика нагрузки	Необходимо оснащение устройствами телеметрии всех потребителей ЭЭ
Метод характерных нагрузок	Достоверность исходной информации	Расчет возможен только при наличии телеинформации о нагрузках
Метод расчета по обобщенным параметрам сети	Позволяет охарактеризовать схемы сетей количественными показателями, легко определяемыми на основе объективных данных	Идеализированная схема не всегда соответствует реальной и её анализ более трудоёмок, чем ввод реальной схемы в компьютер для проведения точного расчета

Метод расчета потерь электроэнергии	Достоинства	Недостатки
Вероятностно-статистические методы		
Метод регрессионного анализа	Позволяет получить уравнение регрессии, связывающее потери с воздействующими факторами	Информация о параметрах режима является неполной и ограничена достоверной
Метод случайной выборки	Отсутствие необходимости в какой бы то ни было информации обо всех схемах, кроме тех, которые включены в выборку	Большой объем выборки, требуемый для удовлетворения заданных условий точности определения потерь ЭЭ
Метод корреляционной связи	Позволяет выявить 4-5 основных влияющих факторов	Сложность и большой объем математических операций, не позволяет наметить конкретные мероприятия по снижению потерь ЭЭ

В ходе анализа некоторых методов определения потерь ЭЭ в низковольтных сетях промышленного электроснабжения выявлены достоинства и недостатки. Причиной таких результатов является недостоверность получения исходной информации, а также сложные математические вычисления, которые могут привести к значительной погрешности. Среди прочих причин можно выделить также то, что методы не учитывают все влияющие факторы, в свою очередь, их учет может повысить точность расчета. Также в ходе анализа предложена классификация методов определения потерь ЭЭ.

Можно указать следующие области применения и некоторые особенности детерминированных и вероятностно-статистических методов расчета потерь ЭЭ.

1. В зависимости от используемой для расчета информации можно выделить среди детерминированных методов методы расчета по времени потерь, эквивалентирования и методы, основанные на поэлементном расчете сетей. Каждый из этих методов имеет свою область применения и точность расчета.

2. Использование методов по времени потерь требует большого количества исходных данных.

3. Методы эквивалентирования имеют погрешности при «сворачивании» схемы сети.

4. Метод $K_{M/H}$ требует выполнения одновременных замеров напряжения и токов. Неучет конфигурации сети, распределения нагрузок, коэффициента мощности может приводить к дополнительным погрешностям результатов.

5. Методы поэлементного расчета позволяют достичь высокой точности расчетов и могут использоваться в качестве эталонных для исследования погрешностей приближенных методов. Однако для их практического применения требуется подготовка большого объема исходной информации, что возможно только на базе современных информационных технологий [7, 8].

Вероятностно-статистические методы расчета позволяют получить определенные сведения о параметре, зависящем от комплекса других параметров. Причем аналитический вид искомой зависимости либо неизвестен, либо настолько сложен, что применение её в дальнейших расчетах может быть затруднено. В этом случае приходится использовать способы упрощенного, более наглядного представления зависимости. Естественным желанием является выявить оптимальные упрощения, вносящие как можно меньшую погрешность при как можно большей простоте и наглядности получаемой формулы.

При выборе метода решения задачи можно пользоваться следующими рекомендациями:

1. Если известен ряд значений результирующего параметра и соответствующие им значения факторов, от которых зависит результирующий параметр, а из физических представлений об их зависимости можно предположить её вид (линейная, квадратичная, полиномиальная и т.п.), то наилучшие значения коэффициентов этой зависимости выявляют методом наименьших квадратов.

2. При использовании метода наименьших квадратов предполагается, что зависимость строится от всех намеченных факторов. На практике может встречаться задача, в которой ряды значений результирующего параметра и факторов известны, однако неизвестно, все ли факторы оказывают существенной влияние на значение результирующего параметра и все ли их стоит учитывать в упрощенной зависимости. Выбор значимых факторов осуществляет аппарат факторного анализа. Существенным аспектом является то, что этот аппарат анализирует значимость только линейной связи. После выбора значимых факторов (они, как правило, удовлетворяют условию независимости) значения коэффициентов линейной зависимости параметра от этих факторов, определяют методом наименьших квадратов.

2. Если ряды соответствующих друг другу значений неизвестны, то возникает задача их получения. Если значения каждого ряда взаимно независимы, то получение этих значений не вызывает трудностей – необходимо произвести столько расчетов, сколько нужно для получения искомой величины с заданной точностью и достоверностью.

Например, если ставится задача выявления зависимости потерь в линиях разомкнутых сетей от суммарной длины участков линий и установленных коммутационных аппаратов на линии, то ясно, что потери в конкретной линии не зависят от количества коммутационных аппаратов в другой линии. Поэтому для каждой линии отдельно рассчитывают три величины: потери, суммарную длину участков и количество коммутационных аппаратов, из физических представлений устанавливают вид зависимости и затем определяют численные значения входящих в нее коэффициентов методом наименьших квадратов. Если однозначных представлений о виде зависимости нет, то может быть намечено несколько формул. Коэффициенты в каждой из них определяют методом наименьших квадратов, вычисляют среднеквадратические ошибки каждой формулы и выбирают формулу с наименьшими значениями ошибки.

1. В ряде задач факторы оказываются существенно зависимыми друг от друга, что не позволяет осуществлять их отдельный анализ.

2. Например, если необходимо выявить зависимость потерь ЭЭ в конкретной сети от нагрузок потребителей, то ясно, что зависимость их от нагрузки любого конкретного потребителя будет различной при различных нагрузках других потребителей. Необходимым условием этой задачи является учет взаимного влияния факторов. Использование же ограниченного количества расчетов, проведенных при сочетаниях, установленных волевым порядком, не гарантирует того, что эти сочетания достаточно хорошо отражают всю возможную совокупность сочетаний. В задачах такого рода следует применять метод планирования эксперимента, который как раз и определяет, какие сочетания значений факторов следует рассмотреть, чтобы выявить закономерности, характерные для всей совокупности сочетаний. К таким задачам относится и задача определения потерь ЭЭ в цеховых сетях, для которых характерно наличие большого числа параметров, влияющих на потери ЭЭ [5].

На данном этапе развития энергетической отрасли и жилищно-коммунального сектора вышеперечисленные методы определения потерь ЭЭ не удовлетворяют современным требованиям. Точное определение уровня потерь ЭЭ и мероприятия, направленные на их снижение в распределительных сетях промышленных предприятий, являются самыми важными составляющими рационального использования энергетических ресурсов.

Список литературы

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
2. Воротницкий В.Э., Калинин М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие. М.: ИПКГосслужбы, 2003. – 64 с.
3. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Под ред. Г.Е. Поспелова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.
4. Грачева Е.И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т.
5. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика: Монография. – М.: КноРус, 2015. – 294 с.
6. Аспекты ресурсобеспечения новых технологических укладов. Федоров О.В. Монография. – М.: ИНФРА-М, 2017; Научная мысль. – 166 с.
7. Немцев А.Г., Федоров О.В., Шестакова Л.А. О вибрации электродвигателей при наличии высших гармонических составляющих в напряжении источника питания / Труды VIII Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – Т. 1. – С. 330–331.
8. Аполлонский С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов: учебное пособие / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев. – СПб.: Лань, 2011. – 443 с.

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ

Е.И. Грачева¹, А.Н. Алимова²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹grachieva.i@bk.ru, ²aan-678@rambler.ru

Аннотация. Исследуется и анализируется величина погрешностей от неучета основных определяющих факторов при расчете потерь электроэнергии. Показано, что при расчете потерь электроэнергии в линиях цеховых сетей необходимо учитывать влияние следующих факторов: температуры окружающей среды; нагрева проводников, обусловленного прохождением тока нагрузки через проводники и температурой окружающей среды; сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов и их число, так как линии цеховых сетей имеют большое количество последовательных узлов с контактными соединениями и, при этом, сопротивление аппарата оказывается соизмеримым с сопротивлением линии; а также необходимо учитывать вид графика нагрузки. Установлено, что отсутствие достоверной информации о параметрах элементов цеховых сетей низкого напряжения и не учет факторов, определяющих эти параметры, ведет к погрешности от 5 до 70 % при вычислении потерь электроэнергии.

Ключевые слова: температура окружающей среды, нагревание проводников, сопротивления контактных соединений, низковольтные аппараты, графики нагрузки.

Как известно, электрические сети напряжением 0,4 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения электроэнергии (ЭЭ) от электростанции к промышленным и бытовым потребителям. Как правило, в целом они составляют около 40% от суммарной протяженности всех электрических сетей [1]. От надежности работы сетей 0,4 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей [2], а от точности расчетов технических потерь в сетях 0,4 кВ – точность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом. Расчет потерь ЭЭ в этих сетях является одним из наиболее трудоемких. Это связано со следующим особенностями распределительных сетей 0,4 кВ:

- большим объемом информации с одновременно низкой ее достоверностью;
- большой протяженностью и разветвленностью схем;
- динамикой изменения схемных и особенно режимных параметров;
- различным исполнением участков: пятипроводные (три фазы, ноль и фонарный провод), четырехпроводные (три фазы и ноль), трехпроводные (две фазы и ноль), двухпроводные (одна фаза и ноль);
- неравномерностью загрузки фаз;
- неодинаковостью фазных напряжений на шинах питающей трансформаторной подстанции [3–5].

Степень применения того или другого метода расчета потерь ЭЭ определяется прежде всего возможностью получения достоверной информации для его реализации и погрешностью метода [6].

Потери ЭЭ в сети с m -ветвями кабельных линий (КЛ) при неизменных в период T составе и топологии схемы электроснабжения промышленного предприятия можно представить так:

$$\Delta W = 3 \cdot \sum_{i=1}^m I_j^2(t) \cdot R_j(t) dt, \quad (1)$$

где $I_j^2(t)$ – среднеквадратичный ток линии в момент времени t , определяется по экспериментальному или расчетному графику нагрузки линии, либо по одной из многочисленных методик расчета электрических нагрузок [14]; $R_j(t)$ – эквивалентное сопротивление линии, значение которого в каждый момент времени t зависит от фактической температуры провода $\Theta_{\text{пр}}$, а также от количества установленных на линии коммутационных аппаратов:

$$R = r_{20} \cdot l \cdot \left[1 + \alpha (\Theta_{\text{пр}} - 20^\circ) \right] + \sum_{i=1}^k r_i, \quad (2)$$

где r_{20} – удельное сопротивление 1 м линии при 20 °С, мОм/м; l – длина линии (определяется по плану прокладки линии, учитывая что провода и кабели прокладываются «змейкой», а не в натяжку чтобы скомпенсировать монтажные и температурные удлинения линии), м; α – температурный коэффициент увеличения сопротивления материала провода линии, равный для меди и алюминия $0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\Theta_{\text{пр}}$ – температура жилы провода, зависящая от нагрузки линии и от температуры окружающей среды, °С;

$\sum_{i=1}^k r_i$ – сумма сопротивлений контактных соединений, в том числе и коммутационных аппаратов, включенных в линию, мОм.

Температура жилы проводника определяется по выражению:

$$\Theta_{\text{пр}} = K_3^2 \cdot (T_{\text{доп}} - \Theta_{\text{окр}}) + \Theta_{\text{окр}}, \quad (3)$$

где K_3^2 – среднеквадратичный коэффициент загрузки линии; $T_{\text{доп}}$ – допустимая температура жилы кабеля, определяется по справочным данным; $\Theta_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды.

Рассмотрим на примере возможную погрешность определения потерь ЭЭ в линии цеховой сети от неучета следующих факторов:

- 1) графиков нагрузки;
- 2) нагрева проводника током нагрузки;
- 3) температуры окружающей среды;
- 4) сопротивлений коммутационных аппаратов, установленных на линии.

Исследуемая схема цеховой сети 0,4 кВ одного из предприятий нефтепромышленного комплекса, представлена на рис. 1. Параметры линий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры линий цеховой сети

Линии			Кол-во коммутационных аппаратов на линии, шт.	Типы		
номер	марка и сечение	длина, м		автоматического выключателя	магнитного пускателя	предохранителя
2, 7	ВВГнг 4×2,5	5	2	АЕ2046-10А	ПМЕ-111	
3, 8		10	3	АЕ2046-20А	ПМЕ-211	ПР-2-10
4, 9	ВВГнг 4×4	25	4	3хАЕ2046-25А	ПМЕ-211	
5, 10		40	5	2хМЕ-86-63А	ПАЕ-411	ПР-2-60
6, 11		60	6	5хАЕ2046-25А	ПМЕ-211	

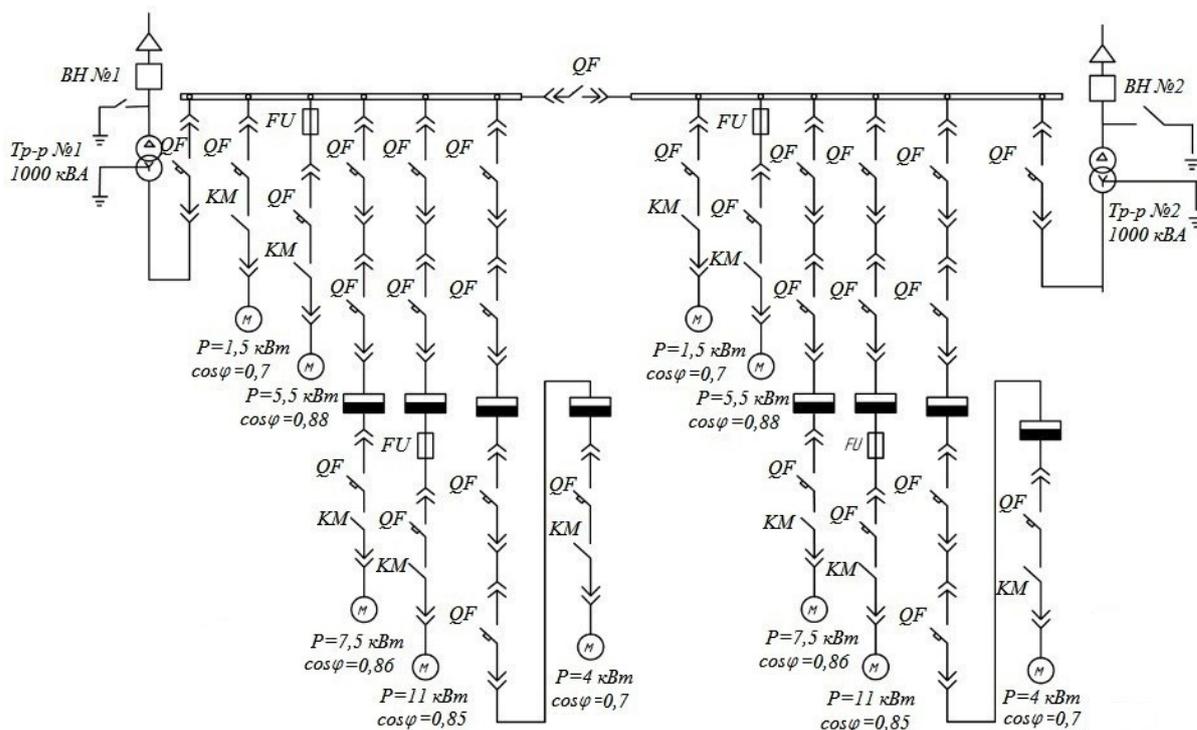


Рис.1. Исследуемая схема цеховой сети 0,4 кВ: 1, 12 – питающие линии; 2, 7 – линии с двумя коммутационными аппаратами; 3, 8 – с тремя аппаратами; 4, 9 – с четырьмя аппаратами; 5, 10 – с пятью аппаратами; 6, 11 – с шестью аппаратами

Определим потери ЭЭ в линии по среднеквадратичному значению тока нагрузки. Эквивалентное сопротивление линии найдём с учётом сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов и с учётом нагревания проводников линии. Сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопротивление контактных соединений коммутационных аппаратов

Номер линии	Автоматический выключатель		Магнитный пускатель		Предохранитель	
	тип	R , мОм	тип	R , мОм	тип	R , мОм
2, 7	АЕ2046-10А	22,10	ПМЕ-111	110,20		
3, 8	АЕ2046-20А	12,30	ПМЕ-211	44,10	ПР-2-10	16,5
4, 9	АЕ2046-25А	12,30	ПМЕ-211	44,10		
5, 10	МЕ-86-63А	4,30	ПАЕ-411	17,5	ПР-2-60	4,7
6, 11	АЕ2046-25А	12,30	ПМЕ-211	44,10		

Допустимая температура жилы провода ВВГнг с поливинилхлоридной изоляцией составляет 70°C . Удельное сопротивление линий сечением $2,5\text{ мм}^2$ составляет $0,0074\text{ Ом/м}$, а для сечения 4 мм^2 – $0,00463\text{ Ом/м}$ при $\Theta_0 = 20^{\circ}\text{C}$. На рис. 2 приведены суточные графики нагрузки линий цеховой сети, а на рис. 3 – суммарный суточный график.

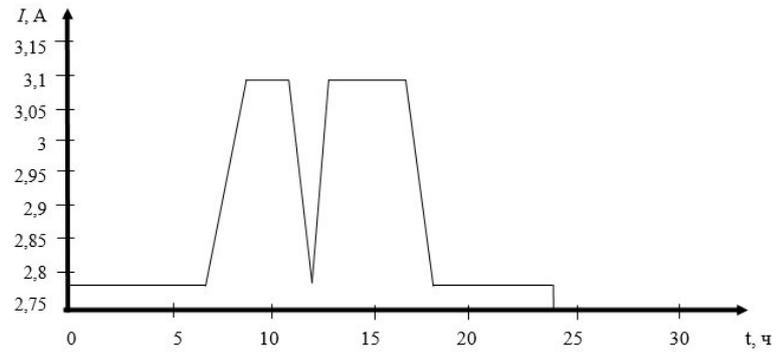
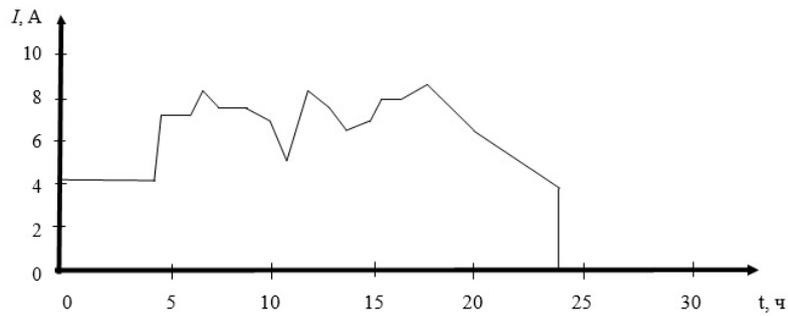
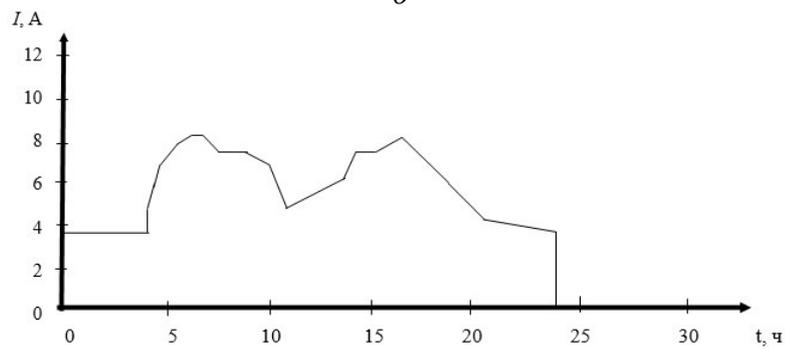
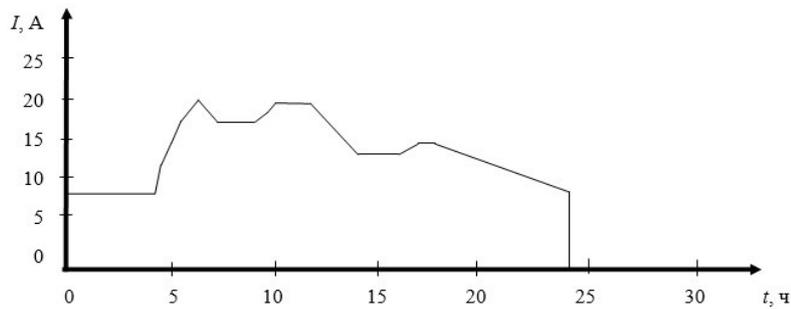
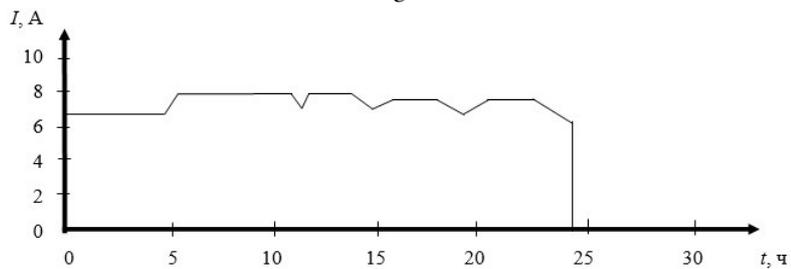
*a**б**в**г**д*

Рис. 2. Суточные графики нагрузки линий цеховой сети:
a – 2, 7; *б* – 3, 8; *в* – 4, 9; *г* – 5, 10; *д* – 6, 11

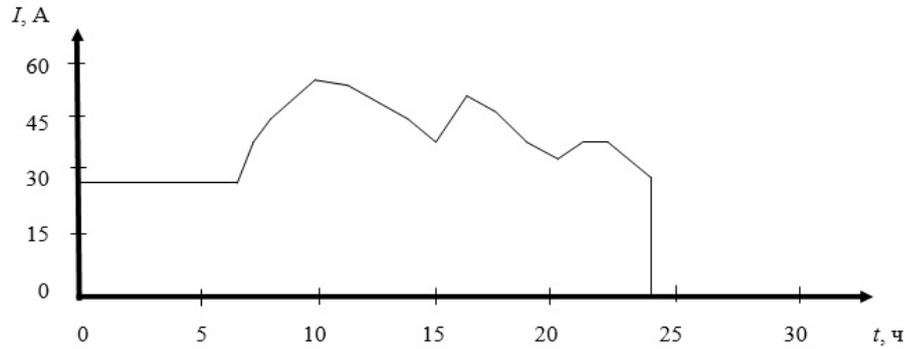


Рис. 3. Суммарный суточный график нагрузки

Рассмотрим влияние температуры окружающей среды на величину потерь ЭЭ в системах промышленного электроснабжения. Расчёт проведём для линии 2 и температуры окружающей среды 5 °С.

Для начала определим температуру провода с учётом нагрева током нагрузки и температуры окружающей среды при $k_3^2 = 0,0093$:

$$\Theta_{\text{пр}} = 0,0093 \cdot (70 - 5) + 5 = 5,6033 \text{ °С.}$$

Определим эквивалентное сопротивление линии с учётом сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов:

$$R = 0,037 \cdot [1 + 0,004 \cdot (5,6033 - 20)] + 0,132 = 1,1672 \text{ Ом,}$$

Определим потери ЭЭ за период времени $T = 24$ ч, если среднеквадратичный ток $I_{\text{ср.кв}} = 2,8939$ А:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,1672 \cdot 24 = 100,796 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Результаты расчета потерь ЭЭ при температуре окружающей среды от 5 до 35 °С представлены в табл. 3. Суточный график зависимости величины потерь активной мощности при различных значениях температуры окружающей среды приведен на рис. 4.

Таблица 3

Результаты расчета потерь ЭЭ при различных значениях температуры окружающей среды

Температура, °С		Сопротивление, Ом		$I_{\text{ср.кв}}$, А	Потери ЭЭ, кВт·ч
окружающей среды	провода	эквивалентное	коммутационных аппаратов		
5	5,603279614	0,16716929	0,1323	2,8939	100,796
10	10,55687349	0,16790242	0,1323	2,8939	101,238
15	15,51046737	0,16863555	0,1323	2,8939	101,6801
20	20,46406124	0,16936868	0,1323	2,8939	102,1221
25	25,41765512	0,17010181	0,1323	2,8939	102,5642
30	30,37124899	0,17083494	0,1323	2,8939	103,0062
35	35,32484287	0,17156808	0,1323	2,8939	103,4483

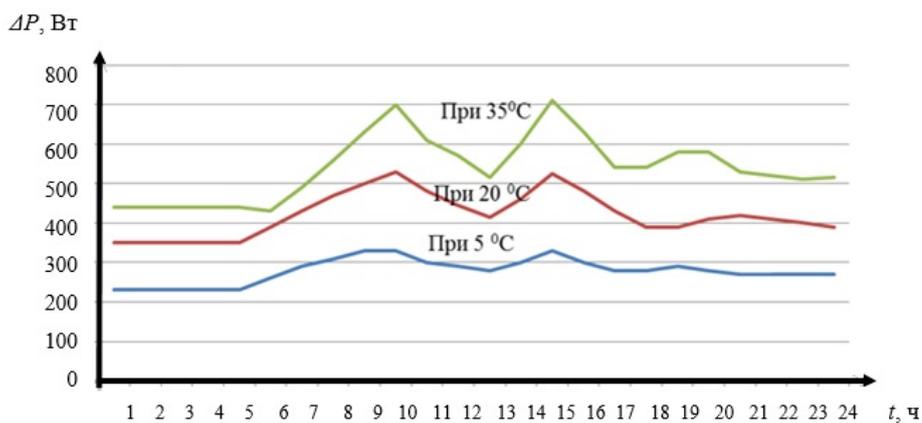


Рис. 4. Суточный график изменения потерь мощности линии цеховой сети в зависимости от различных значений температуры окружающей среды

Таким образом, установлено, что с увеличением температуры окружающей среды потери ЭЭ растут (рис. 5). Погрешность расчета потерь ЭЭ, обусловленная неучетом температуры окружающей среды составляет 10 %. Следовательно, в расчетах требуется отражать фактор влияния температуры окружающей среды.

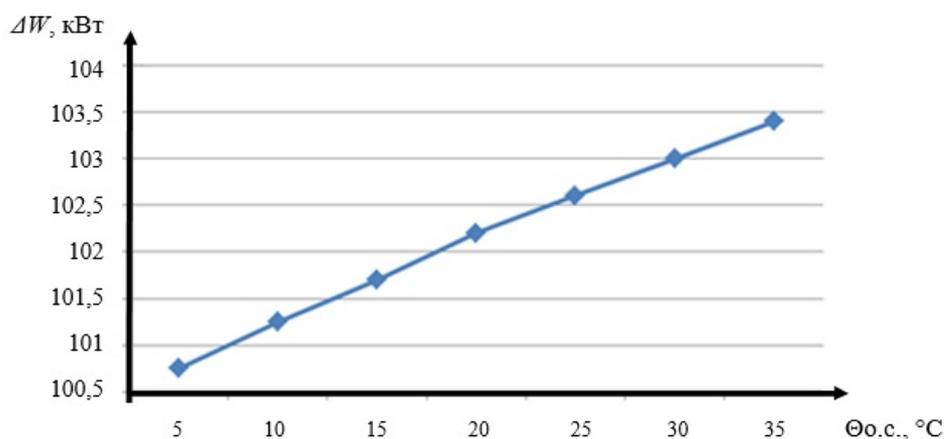


Рис. 5. График зависимости потерь электроэнергии от температуры окружающей среды

Для выявления влияния процесса нагревания проводов рассмотрим новый пример, изменив параметры нагрузки. Пусть мощность электроприемника составляет 60 кВт. Сечение кабельной линии 50 мм^2 с $I_{\text{д}} = 130 \text{ А}$, $r_{20} = 0,589 \text{ Ом/км}$. Постоянная времени нагрева для проводников данного сечения составляет 20 мин. График нагрузки линии приведен на рис. 6, а график изменения потерь активной мощности – на рис. 7. Сопротивление автоматического выключателя составит в этом случае 2,4 мОм, а предохранителя – 0,5 мОм.

Как показали расчеты, в данном случае потери ЭЭ не являются постоянными за расчетный промежуток времени. Следовательно, при определении потерь необходимо учитывать нагревание проводов, если расчетный интервал времени соизмерим с постоянной времени нагревания проводов (рис. 7).

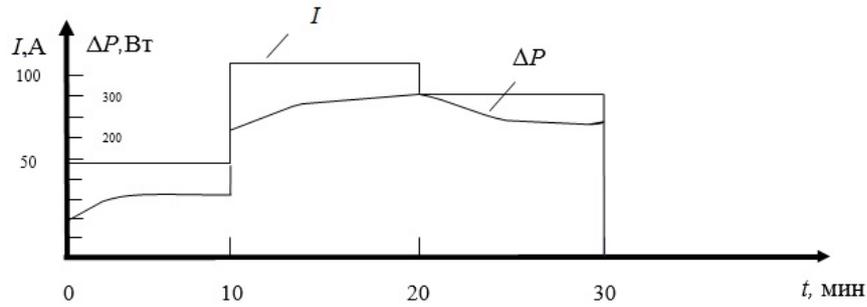


Рис. 6. График токовой нагрузки линии цеховой сети

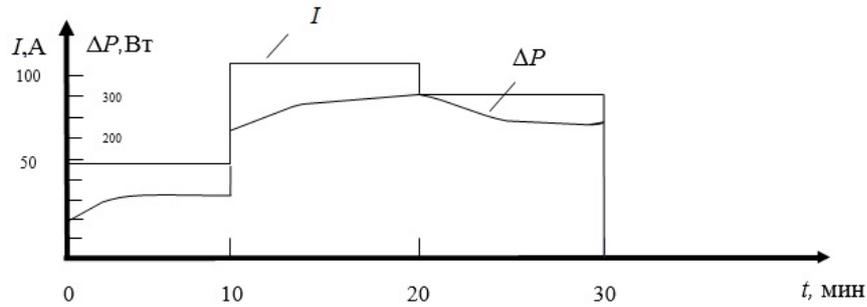


Рис.7. Графики изменения потерь мощности линии с учетом нагревания проводов

Рассмотрим влияние коэффициента загрузки линии на величину потерь ЭЭ, примем, что коэффициент загрузки находится в пределах от 0,3 до 1,5. Результаты расчета потерь ЭЭ представлены в табл. 4. График зависимости величины потерь ЭЭ от загрузки линии приведен на рис. 8.

Таблица 4

Результаты расчетов потерь ЭЭ при различных коэффициентах загрузки линии

Коэффициент загрузки	Температура провода, °С	Сопротивление, Ом		$I_{\text{ср.кв}}$, А	Потери ЭЭ, кВт·ч
		эквивалентное	коммутационных аппаратов		
0,3	24,5	0,3697336	0,1812	13,8507	5107,006
0,5	32,5	0,37566	0,1812	13,8507	5188,865
0,8	52	0,3901056	0,1812	13,8507	5388,398
1	70	0,40344	0,1812	13,8507	5572,581
1,3	104,5	0,4289976	0,1812	13,8507	5925,6
1,5	132,5	0,44974	0,1812	13,8507	6214,108

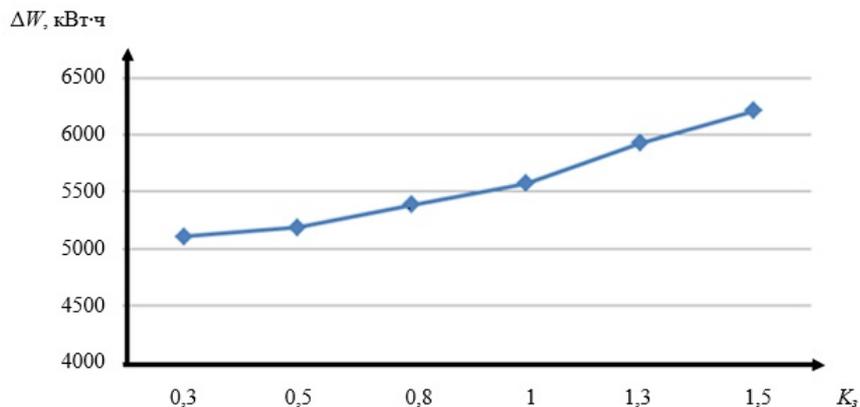


Рис. 8. График зависимости потерь электроэнергии от загрузки линии

По результатам исследований, в данном случае потери ЭЭ растут с увеличением тока линии. Неучет K_3 при расчете потерь ведет к погрешности, равной приблизительно 12 %. Следовательно, при определении потерь ЭЭ необходимо учитывать нагревание проводников вследствие прохождения тока нагрузки.

Покажем, как влияет на величину потерь ЭЭ неучет сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов. Рассмотрим цеховую сеть (см. рис. 1) на линиях которой установлено различное количество коммутационных аппаратов – от 2 до 6.

Проведем расчет потерь ЭЭ при температуре окружающей среды 20 °С для линии 2.

– с учетом сопротивлений коммутационных аппаратов получим:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,1694 \cdot 24 = 102,1221 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

– без учета сопротивлений коммутационных аппаратов:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,0371 \cdot 24 = 22,3508 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для остальных линий результаты расчета потерь ЭЭ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты вычислений потерь электроэнергии с учетом и без учета сопротивлений коммутационных аппаратов с указанием погрешности расчета

Номер линии	Температура провода, °С	Сопротивление, Ом		$I_{\text{ср.кв.}}$, А	Потери ЭЭ		Погрешности от неучета, %
		эквивалентное	коммутационных аппаратов		с учетом сопротивлений	без учета сопротивлений	
2, 7	20,4641	0,1694	0,1323	2,894	102,122	22,351	78
3, 8	22,3548	0,2235	0,1488	6,834	751,498	251,17	66
4, 9	24,7811	0,2473	0,1765	8,844	1392,64	397,79	72
5, 10	32,4637	0,2784	0,1812	13,85	3845,67	1342,8	65
6, 11	24,0378	0,3618	0,2207	7,699	1544,07	602,29	61

Как показывают расчеты, неучет сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов дают достаточно большие погрешности определения потерь ЭЭ – до 80%.

Оценим влияние вида графика нагрузки на результаты определения потерь ЭЭ. Суточные графики нагрузки характеризуются коэффициентом формы (K_{ϕ}). Для электрических нагрузок большинства промышленных предприятий значение K_{ϕ} обычно находится в пределах от 1,01 до 1,1.

Меньшие значения K_{ϕ} соответствуют электрическим нагрузкам с большим числом приемников (например, вся электрическая нагрузка цеховой заводской подстанции); большие значения относятся к электрическим нагрузкам с меньшим числом приемников (например, какая-либо линия, отходящая от подстанции).

Потери ЭЭ цеховой сети определяются по выражению:

$$\Delta W = 3 \cdot K_{\phi}^2 \cdot I_{\text{ср}}^2 \cdot R_{\Sigma} \cdot T, \quad (4)$$

где R_{Σ} – эквивалентное сопротивление сети; T – расчетный период определения потерь ЭЭ; $I_{\text{ср}}$ – средний ток участка сети; $K_{\phi} = 1,045$ – определяем по суммарному графику нагрузки.

Для суммарного графика нагрузки определим потери ЭЭ:

– с учетом K_{ϕ} :

$$\Delta W = 1,045 \cdot 3 \cdot 38,9028^2 \cdot 1,5659 \cdot 24 = 178,310 \text{ МВт}\cdot\text{ч},$$

– без учета K_{ϕ} :

$$\Delta W = 3 \cdot 38,9028^2 \cdot 1,5659 \cdot 24 = 170,631 \text{ МВт}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом, расчеты показали, что погрешность от неучета формы графика нагрузки при определении потерь ЭЭ лежит в пределах 10 %.

На рис. 9 представлена диаграмма погрешностей вычислений от неучета основных параметров электрооборудования (факторов) при определении величины потерь ЭЭ в цеховых сетях низкого напряжения.

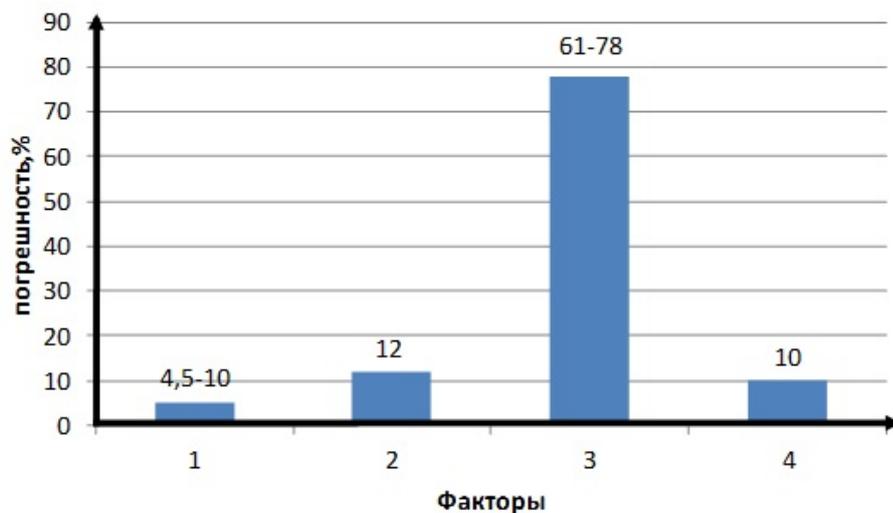


Рис. 9. Результаты оценки погрешностей от неучета основных факторов:
 1 – температуры окружающей среды; 2 – процесса нагревания проводников током нагрузки; 3 – сопротивления коммутационных аппаратов;
 4 – вида графика нагрузки

Заключение

Произведен анализ величины погрешностей от неучета основных определяющих факторов при расчете потерь электроэнергии. Как показали исследования, при расчете потерь ЭЭ в линиях цеховых сетей необходимо учитывать влияние следующих факторов: температуры окружающей среды; нагрева проводников, обусловленного прохождением тока нагрузки и температурой окружающей среды; сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов и их число, так как линии цеховых сетей имеют большое количество последовательных узлов с контактными соединениями и, при этом, сопротивление аппарата оказывается соизмеримым с сопротивлением линии; а также необходимо учитывать вид графика нагрузки. Отсутствие достоверной информации о параметрах элементов цеховых сетей низкого напряжения и неучет факторов, определяющих эти параметры, ведет к погрешности от 5 до 70 % при вычислении потерь ЭЭ.

Список литературы

1. Грачева Е.И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях / Е.И. Грачева. – Казань: Казан.гос. ун-т, 2004. – с. 128 .
2. Шпиганович, А.Н. Проблемы и перспективы развития распределенной генерации / А.Н. Шпиганович, Е.П. Зацепин, Э.А. Качура // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – №1. – с.40.
3. Грачева, Е.И. Использование метода планирования эксперимента для оценки функциональных параметров линий цеховых сетей напряжением до 1000 В / Е.И. Грачева, О.В. Наумов // Электрика. – 2015. – № 10. – С. 40.
4. Грачева, Е.И. Оценка результатов исследования технического состояния низковольтных коммутационных аппаратов / Е.И. Грачева, О.В. Наумов // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – №4 (31). – С. 31–34.
5. Шпиганович, А.Н. Аспекты расчетов параметров электротехнических установок по условиям подобия / А.Н. Шпиганович, В.И. Зацепина, Т.А. Корченова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – №2. – С. 232–235.
6. Моделирование параметров функциональных характеристик цеховых сетей / Е.И. Грачева, [и др.] // Технические науки – от теории к практике: мат-лы III междунар. науч.-практич. конф. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2015. – №12 (48). – С. 105–114.

УДК 621.3.014.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

О.Г. Губаева¹, Д.Ф. Губаев²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹mr.gubaev@mail.ru, ²d-gubaev@mail.ru

Аннотация. Разработана модель, проведены расчеты и анализ переходных процессов в кабельной сети 10 кВ с изолированной нейтралью в режиме дугового ОЗЗ. Процесс гашения дуги носит вероятностный характер. В существующей математической модели учтены факторы, снижающие кратности перенапряжений при ОЗЗ. В расчетную модель введено условие повторного пробоя дугового промежутка. Проведено обоснование условия гашения дуги, с целью разработки математической модели расчета переходных процессов при ОЗЗ в сетях с компенсированной и резистивно-заземленной нейтралью.

Ключевые слова: модель, кабельная сеть, однофазное замыкание на землю, дуга, перенапряжения.

Сети 6–35 кВ в 70–80% подвержены однофазному замыканию на землю (ОЗЗ). Натурные испытания на предмет изучения характера переходных процессов в сетях с изолированной нейтралью и возможность перехода на заземление через дугогасительный реактор проводились в 60-х годах прошлого столетия. По результатам этих экспериментов написана работа [1]. Эти исследования послужили основой для разработки теоретических методов анализа и методов математического моделирования на ЭВМ переходных процессов при ОЗЗ в электрических сетях среднего напряжения, в т.ч. и в сетях 6–10 кВ.

Существуют три основные теории расчета перенапряжений при дуговых перемежающихся ОЗЗ в электрических сетях, работающих с изолированной нейтралью: В. Петерсена, Дж. Петерса и Х. Слепяна и Н.Н. Белякова.

Последние экспериментальные результаты подтверждают, что гашение однофазной дуги в изоляции кабеля происходит при первом или последующем переходах высокочастотного тока дуги через нуль. При этом возникновение повторных пробоев определяется не только соревнованием скоростей восстанавливающейся электрической прочности и переходного восстанавливающегося напряжения, но и скоростью перехода ВЧ тока дуги через нуль [2].

Состояние изоляции кабеля влияет на изменения скорости перехода ВЧ тока через нуль. В большинстве эксплуатационных организаций нет приборов, контролирующих скорости прохода высокочастотного тока через

нуль. Для того чтобы восстановить характер переходного процесса, в математической модели необходимо задать дополнительное условие повторного загорания дуги. Очевидно, последующее загорание дуги будет связано со снижающейся электрической прочностью изоляции.

При проектировании электрической сети и управлении режимами ее работы стремятся удержать колебания напряжения в границах, определенных действующими нормами. ГОСТ 1516.3-96 устанавливает величину наибольшего напряжения электрооборудования, совпадающую с верхним пределом длительно допустимого напряжения в электрической сети [3]. В связи с этим, условием повторных зажиганий дуги при ОЗЗ может явиться величина наибольшего напряжения сети $1,2U_{ном}$, в зависимости от времени горения первоначальной дуги.

На основании сформулированных условий:

1. Разработана математическая модель и проведены расчеты для кабельной сети 10 кВ с изолированной нейтралью в режиме дугового ОЗЗ. Расчеты показали, что характер переходного процесса для одной и той же сети различен. Он определен состоянием изоляции кабеля. Процесс гашения дуги носит вероятностный характер. Выражение, согласно которому дуга гаснет представлено в теории Н.Н. Белякова.

2. В предложенной математической модели учтены факторы, снижающие кратности перенапряжений при ОЗЗ, полученные на основе экспериментальных исследований [1].

3. В расчетную модель введено условие повторного пробоя дугового промежутка.

4. Проведено обоснование условия гашения дуги с целью разработки математической модели расчета переходных процессов при ОЗЗ в сетях с компенсированной и резистивно заземленной нейтралью.

Список литературы

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.

2. Ширковец А.И. Исследование и моделирование электромагнитных процессов при замыканиях на землю в кабельных сетях с неэффективным заземлением нейтрали. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 2013.

3. Халилов Ф.Х. Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения: Учебное пособие. – СПб.: Издание НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2012.

УДК 621.3.027

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЙ

О.Г. Губаева¹, Д.Ф. Губаев², И.А. Шайдуллин³

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹mr.gubaev@mail.ru, ²d-gubaev@mail.ru, ³yota-ilnar@mail.ru

Аннотация. Показана актуальность темы выявления и ликвидации феррорезонансных процессов в сетях 6–35 кВ.

Ключевые слова: изолированная нейтраль, феррорезонансные явления, повреждения оборудования, однофазное замыкание на землю, перенапряжения, нелинейное явление.

Значительное число повреждений оборудования в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью связано с феррорезонансом, так как это явление вызывает перенапряжения или сверхтоки, на воздействие которых оборудование не рассчитано и от которых оно не защищено. Кроме того, феррорезонанс возникает чаще, чем другие виды воздействий, и особенно опасен тем, что длительность его существования неограничена.

В стандарте организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.191-2014, положения которого предназначены для применения проектными и эксплуатационными организациями, выдвинуты требования которые распространяются на защиту электрооборудования от резонансных повышений напряжения на вновь сооружаемых, подлежащих техническому перевооружению и реконструкции энергообъектах. В качестве основной причины повреждений трансформаторов напряжения названы феррорезонансные процессы.

Исследования позволили отделить от перенапряжений при дуговых замыканиях на землю более опасные феррорезонансные перенапряжения. Было установлено, что именно феррорезонанс во многих случаях являлся причиной возникновения пробоя изоляции на землю.

Проблеме анализа феррорезонансных явлений посвящены исследовательские работы, проведенные: Беляковым Н.Н., Дударевым Л.Е., Евдокуниным Г.А. Зихерманом М.Х., Кадомской К.П., Лихачевым Ф.А., Поляковым В.С., Сиротой И.М., Халиловым Ф.Х., Цапенко Е.Ф., Шаргородским В.Л.. За рубежом актуальность проблемы повреждения оборудования в электрических сетях из-за феррорезонансных явлений подтверждается исследованиями, проводимыми в США, Канаде, Франции, Германии: С. Bergmann, С. Kieny, К. Heuck, N. Janssens, А.С. Soudack и т. д.

Данная проблема актуальна сейчас, поскольку число аварий по причине феррорезонансных явлений, как показывает практика, не сокращается. Одной из причин, объясняющей данное положение, является то, что в ранее проведенных исследованиях в ряде случаев проводится только качественный анализ феррорезонансных явлений. Количественная оценка возможности возникновения феррорезонансных явлений, получаемая по известным методикам, в некоторых случаях не дает приемлемые на практике результаты. Идет анализ места и предотвращения феррорезонансных явлений.

Феррорезонанс является нелинейным резонансным явлением, которое оказывает негативное воздействие на электрические сети и до сих пор является нерешенной проблемой в энергетических системах. Значительное повышение уровня гармоник, перенапряжения и сверхтоки, вызванные феррорезонансом, часто приводят к повреждениям электроэнергетического оборудования. Многие аварии в энергосистемах, которые классифицируются как происходящие «по невыясненным причинам», происходят именно из-за этого нелинейного явления.

Ввиду того, что наибольшие кратности перенапряжений в распределительных сетях с изолированной нейтралью возникают в процессе однофазных дуговых замыканий на землю (ОДЗ), опасные феррорезонансные колебания чаще всего сопровождают именно этот процесс, обусловленный смещением нейтрали сети. Условия существования опасных феррорезонансных колебаний чаще наблюдаются в сетях, имеющих небольшую протяженность, из-за относительно небольшой емкости этих сетей и большей вероятности возникновения резонансных условий в контурах, содержащих емкости сети и индуктивности намагничивания фаз ТН.

Целью исследования является: выявление феррорезонансных процессов и разработка способов их ликвидации для предотвращения повреждений дорогостоящего оборудования.

Список литературы

1. Халилов Ф. Х., Евдокунин Г. А., Поляков В. С. и др. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений. / Под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – СПб., 2002. – 260 с.
2. СТО 56947007-29.240.10.191-2014 методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках.
3. Саенко Ю.Л., Попов А.С. Исследование феррорезонансных процессов с учетом варьирования вебер-амперной характеристики трансформаторов напряжения.
4. Виштибеев А.В., Гаврилко А.И. Особенности феррорезонансных явлений в электрических сетях // Проблемы энергетики, 2006. – № 1.

УДК 622.692

ПРОЕКТ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

А.Г. Губайдуллин¹, В.Ю. Корнилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹captaindreik@yandex.ru

Аннотация. Нефтедобывающая отрасль является немаловажной частью в Российском производстве и экономики, в связи с чем использование скважин в будущем станет вероятно при улучшении процесса добычи нефти.

Ключевые слова: Установка с электроцентробежным насосом, электропривод, оптимизация, алгоритмы, модель, скважина, добыча.

Основными способами добычи нефти являются насосные способы. Наряду с глубинными штанговыми насосами большое применение находят погружные центробежные электронасосы, в частности для эксплуатации обводненных, высокодебитных, глубоких и наклонных скважин.

Преимуществом УЭЦН является простое и недорогое обслуживание, так как на поверхности размещаются только станции управления и трансформатор. Установка центробежных насосов отличаются малой металлоемкостью, большим диапазоном рабочих характеристик как по напору, так и по расходу, достаточно высоким к.п.д., возможностью откачки больших количеств жидкости и большим межремонтным периодом. Работа УЭЦН легко поддается автоматизации и телеуправлению. При эксплуатации УЭЦН упрощаются процессы исследования скважины.

Применение частотно-регулируемого электропривода может обеспечить реализуемые экономические и технические преимущества насосов, которые используются для поддержания пластового давления, внутри промысловой перекачки нефти, погружных центробежных насосов, технологических установок добычи нефти и др. Для электропривода ЭЦН необходимо урегулирование скорости с постоянной мощностью на валу электродвигателя. Частотное применение дает возможность осуществить плавное, широкое и экономичное урегулирование скоростью погружного электродвигателя. Внедрение частотного электропривода позволяет повысить надежность работы оборудования и систем, улучшить качество производимой продукции и предоставляемых услуг. Применение регулируемого электропривода влияет на изменение уменьшения износа оборудования, позволяет экономить ресурсы и энергию. При этом автоматизация режима работы является важным фактором.

Поэтому и была сформулирована задача: разработать/представить проект частотно-регулируемого электропривода установки электроцентробежного насоса.

УДК 62-523

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ УСТАНОВКЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Д.А. Давыдов¹, В.С. Наумов²

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: ¹sstuaeudav@rambler.ru, ²mus-t-ang777@mail.ru

Аннотация. Рассматривается автоматическая система управления конвейерной СВЧ установки, предназначенная для регулировки слоя загрузки сыпучего материала, который нужно высушить, по отраженной СВЧ мощности и выходным параметрам влажности с целью получения качественно новых показателей обрабатываемого материала на выходе.

Ключевые слова: система управления СВЧ установка, датчик.

Важную роль в послеуборочной обработке зерна играет сушка, которая позволяет сохранить зерно в нормально состоянии длительное время. Процесс сушки, отвечающий всем требованиям, так же предотвращает развитие грибков, прорастания и других факторов, приводящих в конечном итоге к потере некоторого количества продукта.

Статистика показывает, что за 2016 год потеря зерна составила 10 млн. тонн, из которых около 6 млн. тонн по причине биологических факторов. Остальные 4 млн тонн потерь, связаны с неправильным хранением, а так же порчей из-за недостаточной сушки. В связи с применением высокопроизводительных импортных комбайнов, может увеличиться процент порчи зерна [1]. Связано это с малой скоростью обработки устаревшими установками, соответственно слишком долгим ожиданием большей части продукта в сыром состоянии. Вследствие этого, в зерне зарождаются необратимые биологические процессы [1].

В противном случае, руководство может пойти на увеличение скорости, чтобы успеть обработать большую часть материала, тем самым снизится качество обработки, и потери, вероятно, станут больше. Исходя из этого, в данной статье предлагаются методы автоматического регулирования сушки зерна в СВЧ установке, с целью создания равномерного прогрева зерна по всей площади конвейерной ленты, посредством внедрения датчиков и линейных двигателей.

Несмотря на широкое распространение установок для сушки зерна [6], многие из них не обеспечивают требуемого качества за 1 проход, либо построены ступенчато, что увеличивает массогабариты и стоимость установки из-за большего количества узлов. Необходимый прогрев, может быть достигнут, за счет регулирования толщины обрабатываемого слоя путём подбора высоты затвора, а так же изменением времени обработки посредством замедления или ускорения движения полотна конвейера. Для этих целей можно использовать СВЧ детектор, датчик влажности, и линейные двигатели. Схема предлагаемого оборудования представлена на рис. 1.

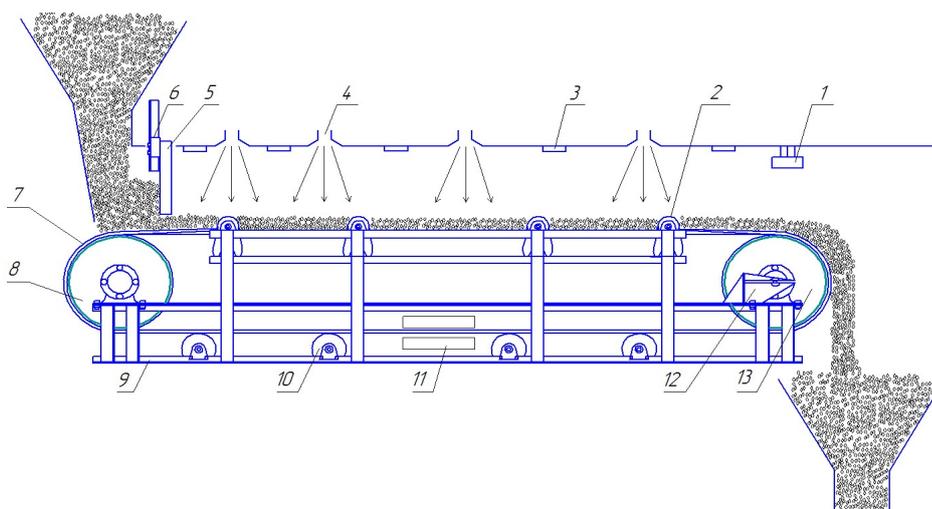


Рис. 1. Предлагаемый вариант СВЧ установки

Данный вид СВЧ установки для сушки зерна кардинально отличается от своих предшественников технологически новым исполнением [4, 6]. Суть нововведения заключается во внедрении в качестве транспортера линейного двигателя. Данный двигатель состоит из статора 11 который приводит в движение ротор 7, играющий роль конвейерной ленты. Таким образом, координально меняется подход к реализации процессов сушки в камере СВЧ, так как в отличии от своих предшественников, установка имеет конвейер изготовленный, по сути, из металла, а не из радиопрозрачного материала [2].

Стоит заметить, что использование в качестве конвейера вышеупомянутой металлической ленты, целесообразно, так как она исключает использование лишней псевдонагрузки, и, соответственно, повышает энергоэффективность установки. С другой стороны, существует риск повреждения излучающей системы (магнетрона) путем попадания в него, отраженной от ленты, волны. Чтобы исключить такое развитие событий, подразумевается установка в камере СВЧ детекторов 3. После того как детектор зафиксирует СВЧ мощность, больше заданной, произойдет воздействие системы управления посредством обратной связи, после ответа которой, произойдет открытие или закрытие затвора уровня загрузки 5 в зависимости от уровня сигнала, поступившего в СВЧ детектор. Отметим тот факт, что с целью исключения выхода из строя магнетрона, у затвора уровня загрузки имеется начальное и совпадающее с ним, после выключения установки, конечное положение. Таким образом, слой зерна в начальный момент времени будет такой толщины, при которой волна, отраженная от ленты, будет рассеиваться в толще зерна, а не выходить за ее пределы. Данная ситуация показана на рис. 2.

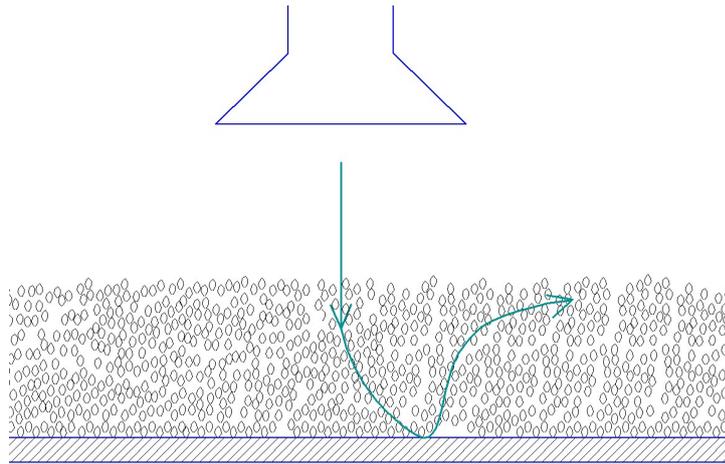


Рис. 2. Отражение электромагнитной волны от металлического конвейера

Что касается регулирования, подразумевается, что после выхода затвора уровня загрузки на режим, до СВЧ детектора будут доходить лишь малые доли волн, что гарантирует работоспособность и долговечность установки. При этом, слой зерна будет наименьшим, и технологический процесс сушки будет соблюден в полной мере.

Стоит заметить, что затвор приводится в действие шаговым линейным двигателем. Один шаг данного двигателя приблизительно равен 10 мм, что является приемлемым.

На выходе конвейера подразумевается установка емкостного датчика влажности I , который будет так же включен в систему управления. Его роль будет заключаться в уменьшении скорости движения ленты, при выявлении избыточной влажности на последнем этапе прохода сушки зерна. Таким образом, реализация вышеупомянутой СВЧ установки коверного типа сводится к регулированию скорости конвейерной ленты, а так же регулировке толщины насыпаемого зерна. Вариант такой системы обратной связи представлен на рис. 3.



Рис. 3. Вариант реализация системы управления конвейерной СВЧ установкой

Предложенные выше методы позволят увеличить скорость сушки зерна, повысят качество данного технологического процесса за один проход, чем обеспечат длительное хранение, с минимальным отходом и порчей материала.

Список литературы

1. Россия потеряла миллионы тонн зерна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://finance.rambler.ru/news/2017-09-22/rossiya-poteryala-milliony-tonn-zerna/>. – Загл. с экрана. (Дата обращения 09.10.2017).
2. Архангельский Ю.С. СВЧ электротермия / Ю.С. Архангельский. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1998. – 408 с.
3. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот / Г. Пюшнер. – М.: Энергия, 1968. – 311 с.
4. Давыдов Д.А. Устройство для размораживания и приготовления пищевых продуктов / Е.И. Юсов, Д.А. Давыдов // Патент на полезную модель № 152016.
5. Пименов А.Н. Алгоритм функционирования установки с тремя инфракрасными датчиками / А.Н. Пименов, Д.А. Давыдов, Е.И. Юсов // Свидетельство на программу для ЭВМ № 2015661529.
6. Кириллов Н.К. СВЧ – индукционная установка для миронизации зерна / Н.К. Кириллов, Г.В. Новикова, М.В. Белова // Патент на изобретение № 2502450.

УДК 621.313.3+621.87

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ В ЦЕПИ РОТОРА ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

П.Е. Данилов¹, В.А. Барышников²

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
E-mail: ¹danilov_petr35@mail.ru, ²bary_vov@mail.ru

Аннотация. Изложен материал по электроприводу с импульсным регулированием в цепи выпрямленного тока ротора для крановых механизмов. Даны схема асинхронного электропривода с импульсным регулятором и инвертором в цепи выпрямленного тока ротора, а также способы формирования статических и динамических характеристик, разработана математическая модель электропривода механизма подъёма крана, получены результаты и сделаны выводы по итогам моделирования.

Ключевые слова: крановый механизм, асинхронный электропривод, импульсный регулятор, инвертор, выпрямленный ток, ротор, моделирование.

Для крановых механизмов наиболее широко используются асинхронные электроприводы с релейно-контакторной системой реостатного регулирования, которая уже не в полной мере удовлетворяет предъявляемым требованиям. В современном краностроении применяются частотно-регулируемые электроприводы, но их массовое внедрение осложнено,

в частности, наличием высокочастотных гармоник тока из-за ШИМ-модуляции по цепи питания двигателей. Поэтому при мощности свыше 18 кВт необходимы специальные двигатели с изоляцией более высокого класса и изолированными подшипниками, что резко увеличивает стоимость электропривода. В связи с этим, например, современные башенные краны оборудуются частотными электроприводами с серийными крановыми двигателями, в основном, для механизмов небольшой мощности: передвижения, поворота и др.

На взгляд авторов, перспективным для крановых механизмов является асинхронный электропривод с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора, который более дешев, не требует специальных двигателей, использует отечественное электрооборудование и обеспечивает необходимое качество регулирования координат [1, 2].

Схема рассматриваемого электропривода содержит в роторной цепи асинхронного двигателя неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель, к выходу которого подсоединен импульсный регулятор в виде силового транзистора IGBT, параллельно которому через отсекающий диод и индуктивно-ёмкостный фильтр подключен инвертор, ведомый сетью, на базе тиристоров или силовых транзисторов с трансформатором или токоограничивающими дросселями.

Задачей инвертора является только рекуперация энергии скольжения в сеть, он работает с максимальным значением ЭДС, не оказывая влияния на работу импульсного регулятора. При оборудовании основных механизмов крана электроприводами с импульсным управлением может быть использован один общий инвертор.

Формирование желаемых механических характеристик и переходных процессов рассматриваемого асинхронного электропривода осуществляется с помощью двухконтурной системы подчиненного регулирования. Она содержит внутренний релейный контур тока и внешний контур скорости или скольжения, что позволяет регулировать скорость и формировать ток (момент) двигателя в переходных режимах, осуществляя пуск и торможение с заданным ускорением, с ограничением рывка и т.д. На ее основе можно построить систему с регулированием положения, например, для механизма передвижения.

В целях подавления колебаний электромагнитного момента используется способ пуска с детерминированным подключением фаз статора, когда две фазы статора подключаются при максимуме линейного напряжения между ними, а спустя 90° подключается третья фаза [3].

Для электропривода механизма подъёма крана применяется режим динамического торможения с самовозбуждением, при котором со стороны ротора выпрямленный ток подаётся на статорную обмотку, отключённую от питающей сети, что повышает энергетические показатели привода. В случае механизмов передвижения, поворота и др. для торможения может быть применен режим противовключения.

Применительно к механизму подъёма башенного крана в пакете MATLAB/Simulink разработана математическая модель асинхронного электропривода с импульсным регулятором и инвертором в цепи выпрямленного тока ротора. Результаты, полученные при моделировании рассматриваемой системы, в полной мере удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к данному механизму.

Список литературы

1. Данилов П.Е. Крановый асинхронный электропривод с импульсным регулятором в роторной цепи: Учебное пособие. – Смоленск: Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2005. – 92 с.
2. Данилов П.Е. Теория электропривода. [Текст]: монография / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. – Смоленск, 2014. – 348 с.
3. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / М.М. Соколов, Л.П. Петров, Л.Б. Масандилов, В.А. Ладензон. – М.: Энергия, 1967. – 200 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАКТНОЙ МОБИЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

П.В. Дикарев¹, А.М. Макаров², И.В. Волков³

ФГБОУ ВО «ВолгГТУ», г. Волгоград

E-mail: ¹dikarev@mail.ru, ²amm34@mail.ru, ³berkytxt@rambler.ru

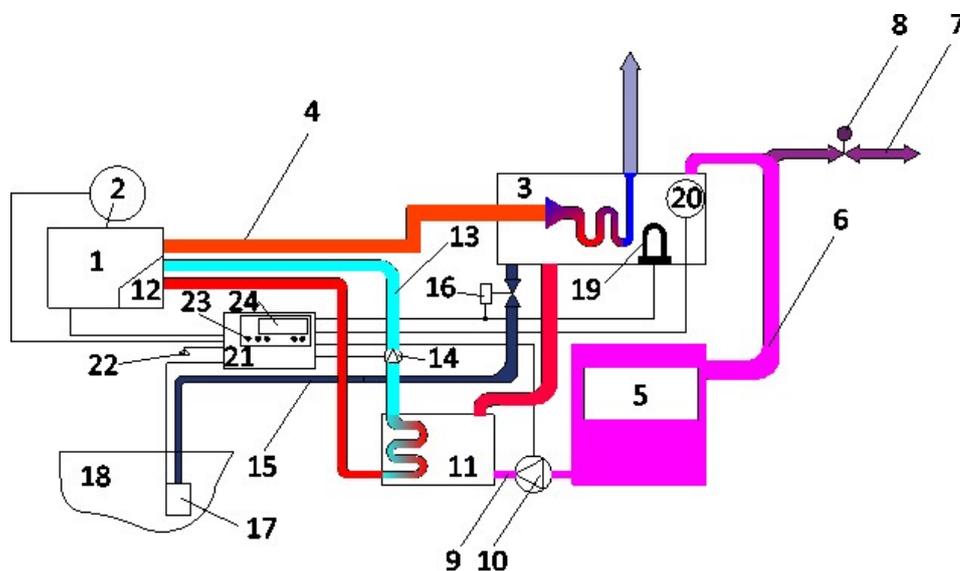
Аннотация: Разработано устройство, в котором для получения тепловой энергии используется побочная энергия, вырабатываемая при получении электричества, а вырабатываемая электроэнергия с помощью адаптивной системы управления перераспределяется на нагрев воды при отсутствии необходимости ее использования внешними потребителями. Это повышает КПД установки. Энергоемкость и функциональность системы выше, чем у аналогов за счет более эффективной утилизации тепловой и электрической энергии, получаемой от сгорания топлива.

Ключевые слова: когенерация, мобильная установка, нагрев воды, тепловая энергия, регулирование, горячее водоснабжение, электроснабжение.

Зарубежный опыт последних лет показывает значительный рост автономных и когенерационных установок на промышленных предприятиях и в коммунальном хозяйстве, что связано, в первую очередь, с экономическим фактором и стабильностью энергоснабжения. Указанное обстоятельство особенно имеет преимущество в отдаленных небольших городах и поселках,

а также в дальних местах добычи полезных ископаемых. Компактная мобильная когенерационная установка относится к области автономной теплоэнергетики и когенерационных установок и предназначена для одновременного производства электро- и теплоэнергии в условиях нестационарного использования.

Мобильная когенерационная энергоустановка содержит преобразователь прямого цикла – двигатель *1* с электрогенератором *2* на одном валу, теплообменник-утилизатор *3* тепла отработанных газов двигателя, связанный с двигателем *1* магистралью отработанных газов *4*. Система внешнего теплоснабжения *5* с потребителями тепла, выполненная, например, в виде радиатора или дополнительного накопителя воды связана с теплообменником-утилизатором *3* линией подачи горячей воды *6* с дополнительной линией *7* с вентилем *8* для непосредственной подачи горячей воды потребителю, а также линией охлажденной воды *9* с циркуляционным насосом *10*, которая проходит через теплообменник-охладитель *11*, связанный с рубашкой охлаждения двигателя *12* магистралью охлаждающей жидкости *13* с дополнительным циркуляционным насосом *14*. Линия подачи холодной воды *15* с регулирующим клапаном *16* связывает теплообменник-утилизатор *3* с насосом *17*, установленном в водоеме или накопителе холодной воды *18*. Внутри теплообменника-утилизатора *3* установлен электрический нагревательный элемент *19*, и датчик температуры *20*, связанные с микропроцессорным блоком управления *21*, с которым также связаны электрогенератор *2*, циркуляционный насос *10*, дополнительный циркуляционный насос *14*, регулирующий клапан *16*, насос *17*, электрический нагревательный элемент *19* и розетка *22*. Микропроцессорный блок управления *21* также содержит устройство ввода информации *23* и устройство вывода информации *24* [2].



Функциональная схема мобильной когенерационной установки

Для экспериментального исследования разработанного устройства спроектирован опытный образец, состоящий из бензинового электрогенератора, трех теплообменников, системы управления на основе микроконтроллера и датчиков. Разработанное компактное мобильное устройство может найти практическое применение для электроснабжения, нагрева и накопления теплой воды, а также подачи холодной и горячей воды потребителю в «полевых» условиях благодаря своей компактности и высокой мобильности [1].

Список литературы

1. Компактная автономная когенерационная установка с микропроцессорной системой управления / П.В. Дикарев, А.М. Макаров, И.В. Волков, В.В. Лазарев // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград, 2016. – № 8 (187). – С. 72–74.
2. Мобильная когенерационная установка : пат. 174173 Рос. Федерация: МПК F02G 5/04 / А.М. Макаров, И.В. Волков, В.В. Лазарев, П.В. Дикарев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). – № 2017100482. – № заявл. 09.01.2017; опубл. 05.10.2017. – Бюл. № 28. – 9 с.

УДК 621.365.3

СИСТЕМА ЭЛЕКТРООБОГРЕВА РЕЗЕРВУАРОВ В ТЭК

Т.Ю. Дунаева¹, А.С. Шалыгин²

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: ¹d_t_y@mail.ru, shaligin.artiom@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматриваются результаты исследования систем электрообогрева резервуаров с жидкими продуктами. Приведена методика определения необходимой мощности нагревателей.

Ключевые слова: резервуар, система электрообогрева, кабельный нагреватель, погружной нагреватель, ТЭН, терморегулятор.

В настоящее время резервуарное оборудование для хранения жидкостей, нефти и нефтепродуктов распространено достаточно широко. Например, оно используется на всех этапах нефтедобычи и нефтепереработки. Резервуары устанавливаются непосредственно на месторождениях нефти, промежуточных станциях по перекачиванию, предприятиях нефтепереработки и нефтехимических предприятиях, а так же в местах аварийного разлива нефтепродуктов.

Современный резервуар представляет собой сложное инженерное сооружение, а резервуарное оборудование является неотъемлемой частью резервуара, без которого эксплуатация резервуара или резервуарного парка либо затруднена, либо совсем невозможна. Резервуары, в зависимости от их назначения, конструкции и места расположения, должны быть оснащены [1]:

- приемо-раздаточными устройствами, имеющими местное или дистанционное управление;
- устройствами для вентиляции резервуара;
- приборами местного или дистанционного измерения уровня и температуры хранимых жидкостей, автоматической сигнализацией верхнего и нижнего предельных уровней;
- устройствами отбора проб;
- устройствами для удаления подтоварной воды;
- устройствами для подогрева высоковязких и застывающих нефти и нефтепродуктов;
- устройствами для предотвращения накопления отложений в резервуаре;
- устройствами для зачистки;
- устройствами и средствами обнаружения и тушения пожаров;
- устройствами молниезащиты, заземления и защиты от статического электричества.

Марки и типы оборудования и аппаратуры должны соответствовать требованиям проектной документации для конкретного резервуара, вида хранимого продукта и характера технологических операций.

Оборудование, устанавливаемое на резервуаре, по своему исполнению и категории должно соответствовать требованиям ГОСТ 15150 и быть сертифицировано органами Ростехнадзор [2]. Пример размещения оборудования на резервуаре для хранения нефтепродуктов показан на рис. 1.

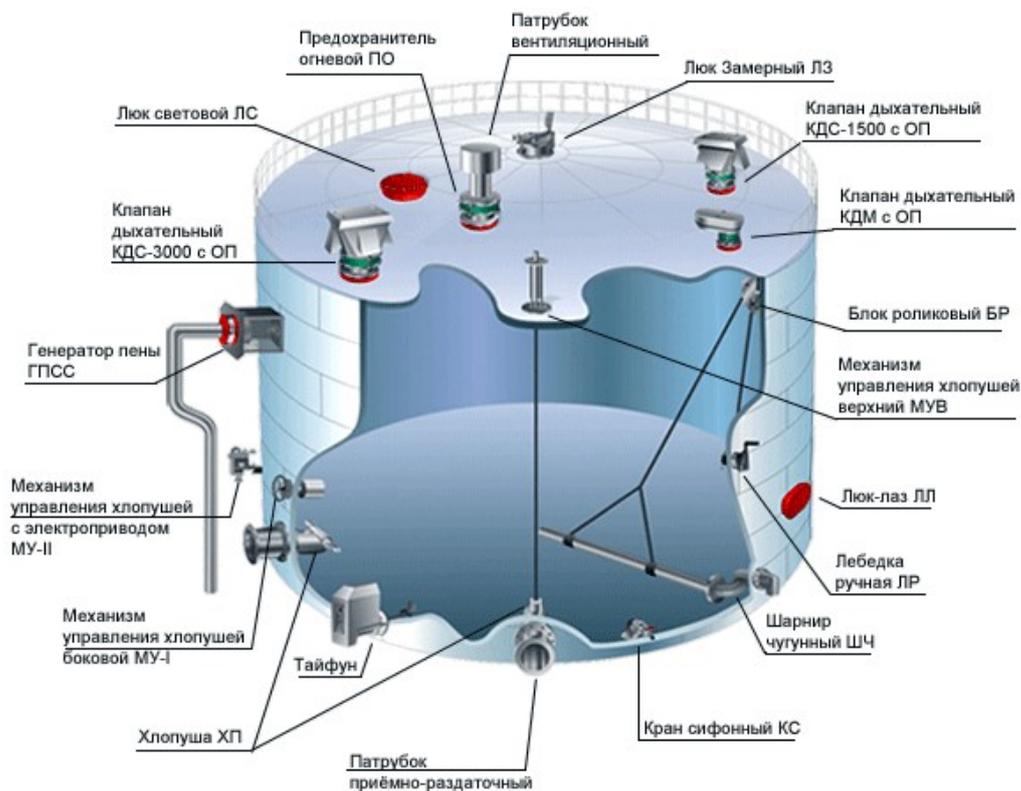


Рис. 1. Примерная схема размещения оборудования на резервуаре

Одним из наиболее эффективных, простых и надежных способов обогрева резервуаров является электрообогрев [1].

Конфигурацию системы электрообогрева выбирается и устанавливается таким образом, чтобы обеспечить достаточное количество тепловой энергии в целях компенсации потерь тепла при поддержании требуемой температуры резервуара при минимальной температуре окружающей среды; или повышения температуры объекта и его содержимого (разогрев), в течение заданного периода времени; а также одновременного решения этих задач.

Система обогрева содержит нагреватели, источник питания, систему управления и контроля температуры. Она может быть выполнена на основе нагревательных лент и кабелей либо погружных электронагревателей [2].

Кабельная система обогрева включает в себя обогревательный кабель, регуляторы и контроллеры температуры, соединительные и крепежные элементы и кабеля для контроля и подключения (рис. 2).

Кабель навивается на резервуар и трубопровод спирально или змейкой и закрепляется на нем [3]. Поверх кабеля укладывается утеплитель, предохраняющий его от механического повреждения климатических осадков и не позволяющий теплу уходить в атмосферу.

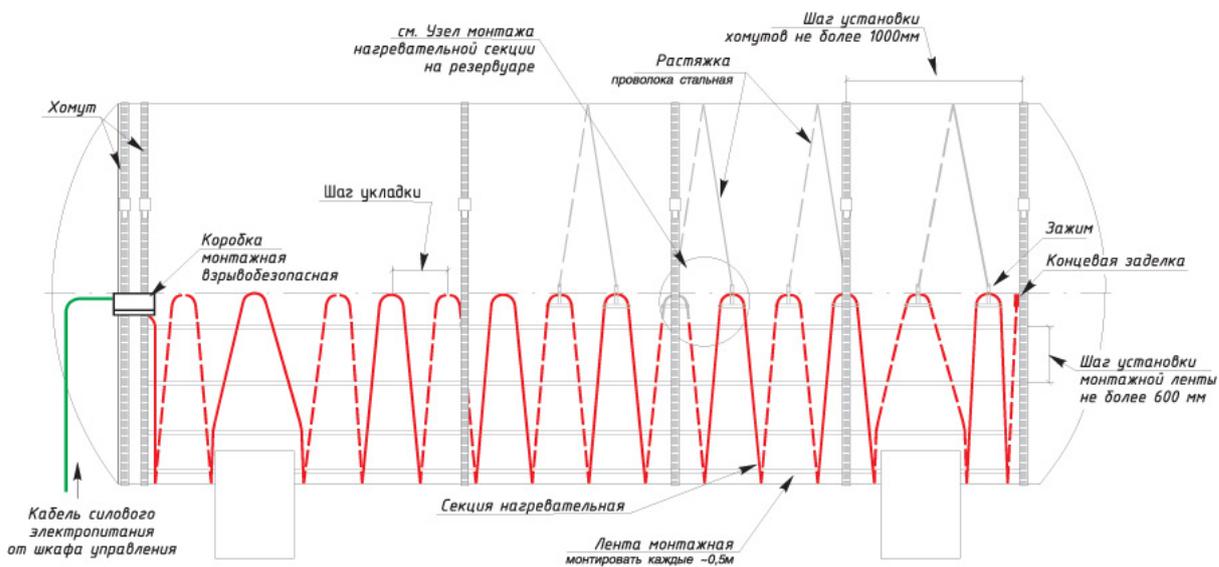


Рис. 2. Обогрев цистерны с помощью нагревательных кабелей

Использование погружных электрических нагревателей для обогрева резервуаров обладает рядом преимуществ по сравнению с нагревательным кабелем [4]. В частности:

- ниже стоимость оборудования на единицу выделяемой тепловой энергии за счет более высокого удельного тепловыделения с поверхности нагревательных элементов электронагревателей;

– стоимость монтажных работ по установке электронагревателя на резервуар в десятки раз ниже, по сравнению с системами на основе нагревательных кабелей, т.к. нет необходимости строительства дорогостоящих монтажных лесов и стропильных систем, не требуется проведение каких-либо сварочных работ непосредственно на объекте, соответственно не требуется привлечение большого количества монтажников, сварщиков и других дорогостоящих квалифицированных специалистов, что особенно актуально для удаленных северных районов;

– разница в стоимости увеличивается в пользу электронагревателей при необходимости разогрева продукта для относительно больших резервуаров.

Для периодического разогрева продукта в резервуарах, выгоднее использовать взрывозащищенные фланцевые электронагреватели, для которых характерна более высокая установленная мощность на площадь нагревательного элемента. В отличие от нагревательных лент и кабелей, решение о применении фланцевых погружных электронагревателей на резервуарах принимается проектировщиком до начала монтажа резервуара, или его изготовления на заводе-изготовителе. Такой резервуар должен быть оснащен ответными фланцами для крепления нагревателей.

Конструкция погружного нагревателя содержит следующие элементы (рис. 3): сварной корпус нагревателя, нагревательные трубки (от 1 до 9) со специальным лакокрасочным покрытием, фланцевое соединение, керамические нагревательные стержни, крышку и стальные держатели.

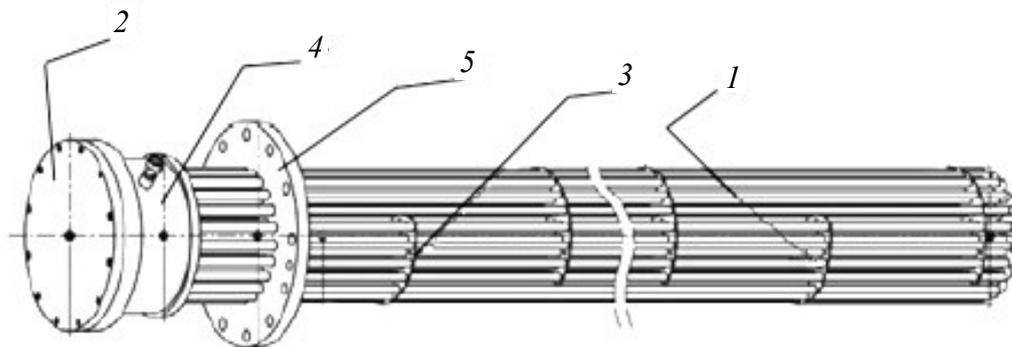


Рис. 3. Погружной фланцевый нагреватель: 1 – трубчатые нагреватели; 2 – крышка; 3 – держатели; 4 – сварной корпус; 5 – фланцевое соединение

В качестве нагревателя используется нихромовая спираль, запрессованная в трубчатый нагреватель. Пространство между стенками трубы и спиралью заполнено прессованным порошком плавенной окиси магния – периклазовым порошком, который хорошо проводит тепло, обладает

жаростойкостью и высоким электрическим сопротивлением. Принцип работы нагревателя основан на нагреве сопротивлением. Тепло, выделяемое с поверхности ТЭН, нагревает жидкость в резервуаре.

Одной из особенностей проектирования системы обогрева резервуара является то, что на поддержание температуры продукта требуется почти на два порядка меньшие мощности, чем для разогрева [4]. Мощность, необходимая для разогрева резервуара, прямо пропорциональна объему резервуара и разогреваемого продукта и обратно пропорциональна времени разогрева. Используя оценочные таблицы [4] можно оценить мощности, затрачиваемые на разогрев продукта, и существенно их сократить, увеличивая время разогрева.

Расчет системы обогрева любого типа связан с определением мощностных характеристик системы, то есть с определением величины тепловых потерь и необходимой для разогрева оборудования мощности.

Расчет удельных тепловых потерь резервуара выполняется по формулам для случая плоской многослойной стенки, состоящей как минимум, из двух слоев (корпуса резервуара и теплоизоляции):

$$Q_{\text{пот.уд}} = \frac{\Delta T_1}{\sum_{i1}^n R_{jh} + R_h}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пот.уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара, Вт/м²;

$$\Delta T_1 = T_{\text{рез}} - T_{\text{окр}}, \quad (2)$$

где ΔT_1 – разница между температурой стенки резервуара и температурой

окружающей среды, °С; $\sum_{j=1}^n R_j$ – сумма термических сопротивлений корпуса

резервуара, теплоизоляционных и защитных слоев (м² · °С)/Вт; R_h – термическое сопротивление теплопередачи от кожуха резервуара к окружающей среде (м² · °С)/Вт.

Термическое сопротивление определяется из следующих соотношений:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad (3)$$

$$R_h = \frac{1}{\alpha_h}, \quad (4)$$

где δ_i – толщина i -го слоя теплоизоляции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции Вт/(м·°С); α_h – коэффициент теплопередачи от поверхности кожуха к окружающей среде (зависит от условий размещения резервуара), Вт/(м²·°С).

Полные теплотери резервуара определяются как:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{пот.уд}} \cdot S_{\text{р.т/из}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – полные теплотери с поверхности резервуара, Вт; $Q_{\text{пот.уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара рассчитанные по формуле (1), Вт/м²; $S_{\text{р.т/из}}$ – площадь поверхности резервуара по теплоизоляции, м².

Тепловые потери резервуара в ходе разогрева изменяются, а именно возрастают с увеличением температуры разогрева.

Для поддержания температуры в резервуаре, теплотери просто определяются по [4]. Там приведены типовые расчетные теплотери резервуаров в зависимости от их объема, разности минимальной температурой окружающей среды и требуемой температуры резервуара, а так же от величины теплоизоляции.

Данные [4] справедливы для следующих условий: резервуар расположен на открытом воздухе; применяется теплоизоляция, коэффициент которой равен 0,05 Вт/(м·°С).

При изменении условий суммарные теплотери резервуара определяются по следующей формуле:

$$Q_{\text{пот}} = K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot Q_{\text{табл.2}}. \quad (6)$$

Значение $Q_{\text{табл.2}}$ необходимо применять по [4] значение коэффициентов K_2, K_3, K_4 – из [4].

Мощность необходимая для разогрева заполненного резервуара складывается из мощностей, расходуемых на разогрев корпуса резервуара, теплоизоляции, продукта а так же на компенсацию тепловых потерь:

$$P_{\text{раз}} = \frac{\Delta T_2 \cdot (m_{\text{к}} \cdot C_{p_{\text{к}}} + m_{\text{пр}} \cdot C_{p_{\text{пр}}} + 0,5 \cdot m_{\text{из}} \cdot C_{p_{\text{из}}})}{\tau_{\text{раз}}} + Q_{\text{пот}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{раз}}$ – мощность требуемая для разогрева резервуара, Вт;

$$\Delta T_2 = T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}, \quad (8)$$

где ΔT_2 – разница между начальной и конечной температурой разогрева, °С; C_{p_k} , $C_{p_{из}}$ и $C_{p_{пр}}$ – теплоемкости материала корпуса, продукта и теплоизоляции, Дж/(кг·°С); m_k , $m_{пр}$, $m_{из}$ – массы корпуса, продукта и изоляции Дж/(кг·°С); $\tau_{раз}$ – требуемое время разогрева, с; $Q_{пот}$ – теплопотери с поверхности резервуара в процессе разогрева, Вт/м².

Для разогрева продукта от начальной до требуемой температуры, по [4] определяется суммарная мощность, необходимая для разогрева продукта, корпуса и теплоизоляции. При этом для получения конечного результата необходимо к полученной мощности разогрева прибавить тепловые потери.

Расчет нагревательных элементов системы можно осуществить по типовой методике, изложенной, например, в [5].

Вне зависимости от типа используемых нагревателей система обогрева резервуара оборудуется терморегуляторами, отвечающими за автоматическое поддержание температуры среды на заданном уровне. При эксплуатации теплоизолированных резервуаров не всегда требуется поддерживать постоянно положительную температуру продукта, т.к. продукт поступает в резервуар с достаточно высокой температурой и за счет большого объема медленно остывает, особенно при «мягких» климатических условиях. В этих случаях служба эксплуатации, как правило, заинтересована в использовании оборудования, которое включается только при необходимости, достаточно быстро разогревает продукт и поддерживает в дальнейшем температуру в течение необходимого времени.

Список литературы

1. Обогрев резервуаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <http://probatum-est.ru/obogrev-rezervuarov/>.
2. Стандарт организации СТО-СА-03-002-2009: «Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов». – М., 2009.
3. Методические указания по проектированию специальных электроустановок с применением нагревательного кабеля. – ГУ «Петербурггосэнергонадзор», Военный инженерно-технический университет, 2001. – 31с.
4. Пилипенко А.И., Лукина А.А. Методика подбора электронагревателей для обогрева резервуаров. – Электронный ресурс. – Точка доступа. http://www.e-heating.ru/content/files/pilipenko_lukina_4_2012.pdf.
5. Методы расчета нагревателей различных типов, применяемых в электропечах сопротивления: Учебное пособие / А.А. Ефимов [и др.]. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т., 2002. – 88 с.

УДК 628352 621.314.26

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*А.С. Желтов¹, А.Е. Буллер², Д.Ю. Хрюкин³,
Н.В. Кузьмин⁴, Е.А. Румянцева⁵*

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск

E-mail: ¹temka_016@mail.ru, ²buller95anton@gmail.com,
³dimchick@mail.ru, ⁴mrgoldmen@mail.ru, ⁵l-rumyanceva96@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено сравнительному экспериментальному анализу преобразователей частоты различных фирм, встроенных в однотипные лабораторные модули шкафного типа. Исследование проводилось с целью определения наибольшей энергоэффективности и функциональности электроприводов при использовании преобразователей различных фирм. Исследование построено по принципу получения однотипных экспериментальных зависимостей координат электропривода, с последующим их сравнением.

Ключевые слова: энергоэффективность, функциональность, преобразователь частоты, автоматизированный электропривод, сравнение ПЧ, асинхронный двигатель, механическая характеристика.

Введение

В настоящее время асинхронный электропривод занимает ведущие роли с точки зрения широты промышленных применений. Основой промышленного асинхронного электропривода является система «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с различными законами управления. Как следствие, все это вылилось в многообразие преобразователей частоты на рынке. На основании вышеизложенного актуальной выглядит задача сравнения энергетических характеристик преобразователей частоты различных марок, но близкого функционала.

Исследование проводилось для трех преобразователей частоты ведущих мировых производителей: Altivar 71 (фирмы Schneiderelectric), Sinamics G120 (фирмы Siemens) и Unidrive M701 (фирмы Emerson).

Исследование проводилось для типовых лабораторных модулей, в которых преобразователи частоты управляли идентичными асинхронными двигателями, на валу которых располагалась машина постоянного тока, работающая в режиме нагрузочного устройства. Скорость на валу оценивалась посредством цифрового датчика, момент – по току якоря нагрузочной машины, мощность – по показаниям специализированного промышленного измерителя мощности, установленного на входе ПЧ.

На рис. 1 приведены механические характеристики исследуемых электроприводов для скалярного управления по закону $U/f = \text{const}$ для частот 30 и 50 Гц.

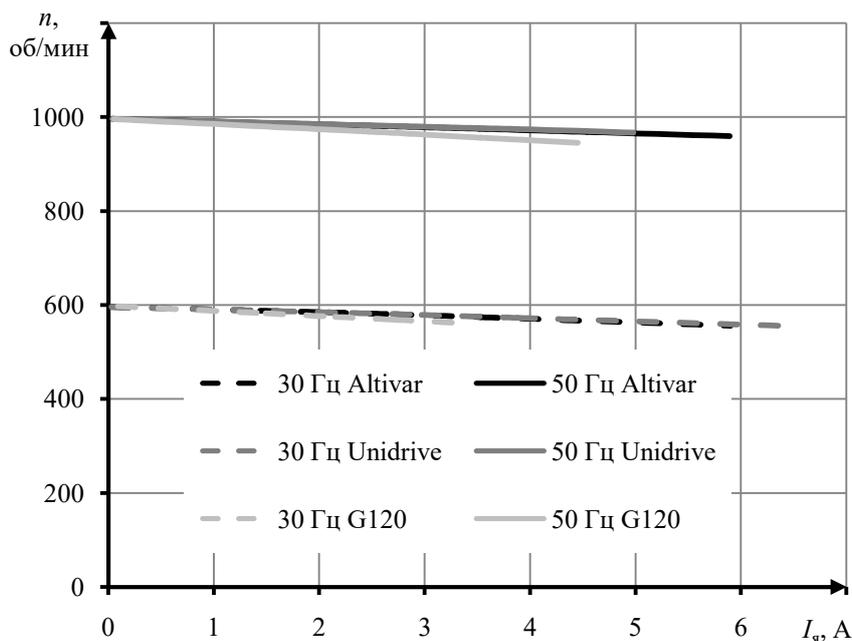


Рис. 1. Механические характеристики для закона управления $U/f = \text{const}$

Из рисунка видно, что характеристики для всех трех преобразователей совпадают (с учетом погрешности измерений) и полностью соответствуют теоретическим зависимостям.

На рис. 2 изображены механические характеристики, но уже для закона управления $U/f^2 = \text{const}$. Можно отметить, что жесткость механической характеристики электропривода с преобразователем Altivar 71 не изменяется с уменьшением частоты, хотя при рассматриваемом законе управления, согласно теоретическим зависимостям, наклон характеристики должен меняться с уменьшением частоты [12], как это, например, происходит в электроприводах под управлением преобразователей Unidrive M701 и Sinamics G120.

Рассмотрим также зависимости тока статора от момента на валу двигателя (тока якоря нагруженного генератора), представленные на рис. 3. Заметно, что в электроприводах с преобразователями Unidrive M701 и Sinamics G120, характеристики при 30 и 50 Гц «сходятся» в одну точку, что характерно для закона $U/f^2 = \text{const}$. В характеристиках электропривода с Altivar 71 токи при частотах 30 и 50 Гц идут почти параллельно друг другу. Следовательно, настройка по пяти точкам недостаточно качественно задает кривую $U/f^2 = \text{const}$, поэтому, применение этого преобразователя в электроприводах насосов и вентиляторов не принесет ожидаемой выгоды.

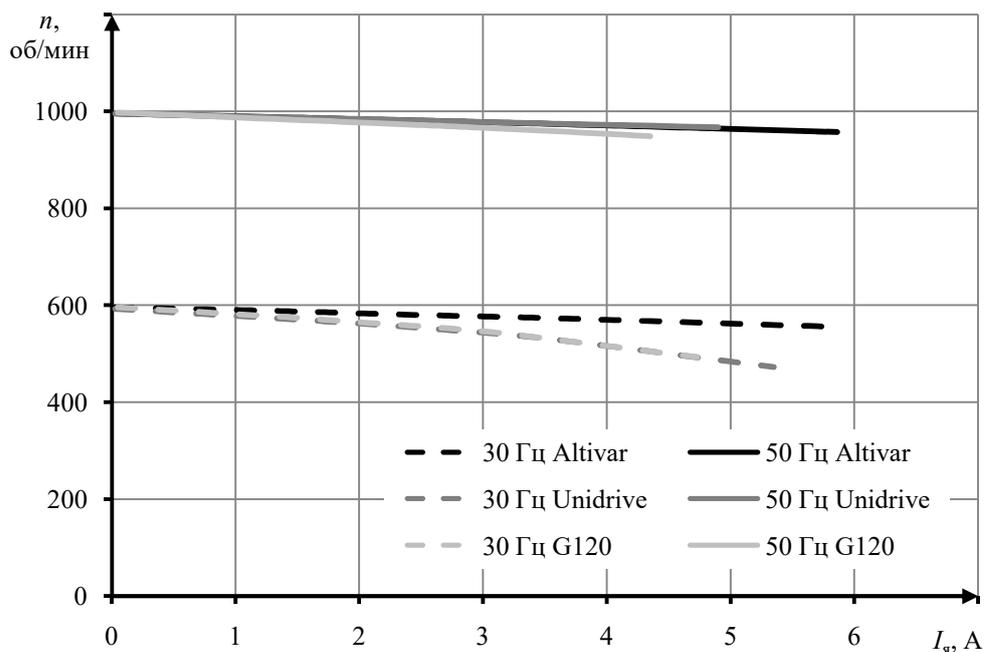


Рис. 2. Механические характеристики для закона управления $U/f^2 = \text{const}$

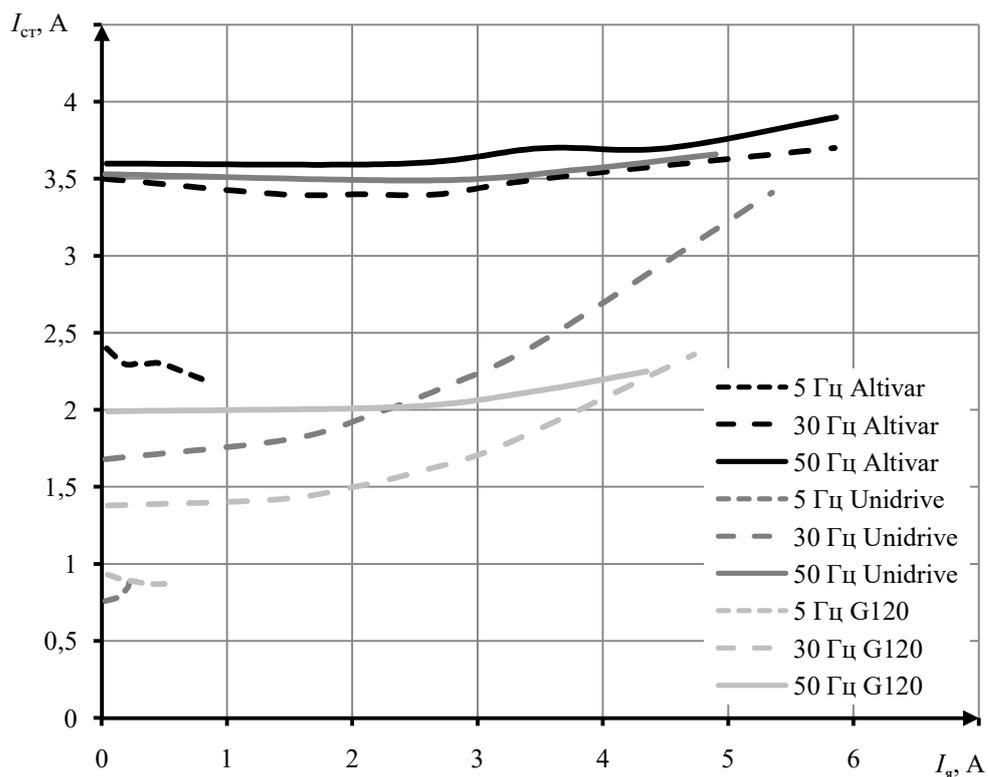


Рис. 3. Зависимости $I_{\text{ст}} = f(I_{\text{я}})$ для закона управления $U/f^2 = \text{const}$

Рассмотрим механические характеристики при векторном управлении, приведенные на рис. 4, а также, для лучшего понимания, зависимости напряжения на статоре исследуемого двигателя от момента на валу двигателя (тока якоря нагрузочного генератора), приведенные на рис. 5.

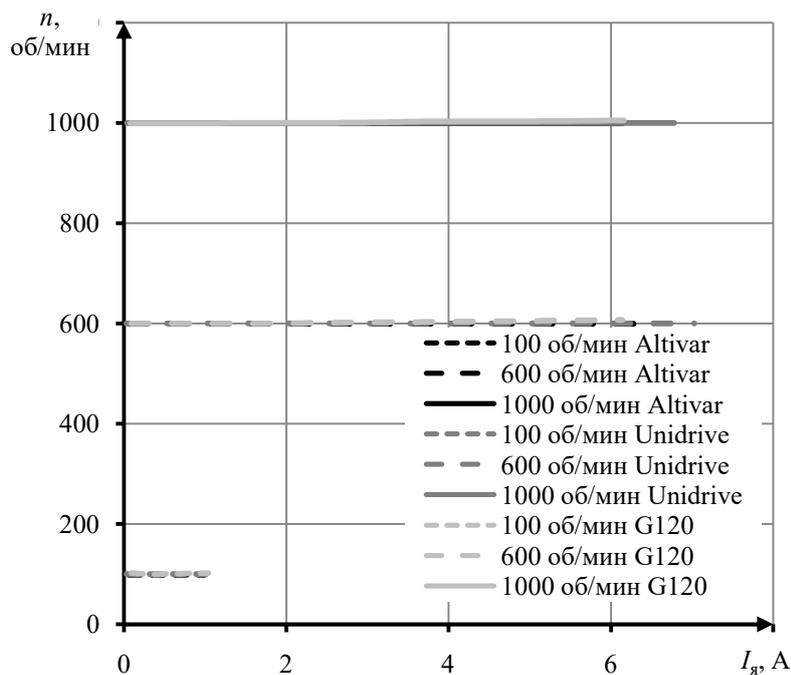
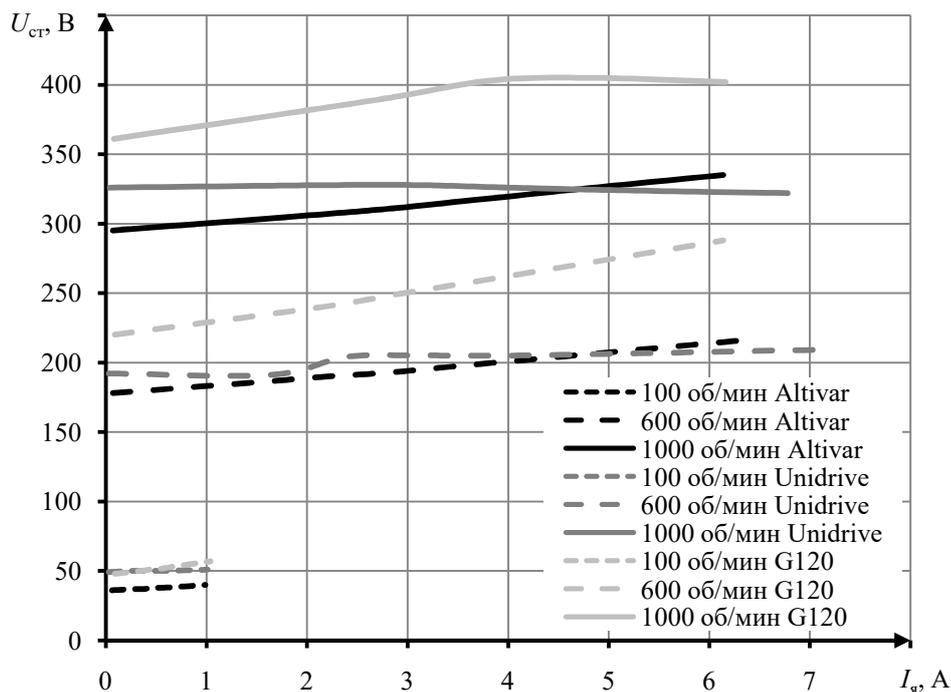


Рис. 4. Механические характеристики при векторном управлении

Рис. 5. Зависимости $U_{ст} = f(I_{я})$ при векторном управлении

Из рис. 4 видно, что все три преобразователя обеспечивают абсолютно жесткую механическую характеристику, что логично при векторном управлении. Однако, на рис. 5 показано, что преобразователь Unidrive M701 почти не повышает напряжение на статоре с ростом нагрузки, что не характерно для векторного управления. Для объяснения этого явления рассмотрим зависимости тока статора от момента на валу двигателя (тока

якоря нагрузочного генератора). Для преобразователей Unidrive M701 и Altivar 71 представленных на рис. 6 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** видно, что в электроприводе под управлением преобразователя Unidrive M701 кривая тока статора от момента более пологая, чем у электропривода под управлением преобразователя Altivar 71, и на холостом ходу имеет большую величину. Это свидетельствует о том, что завышен ток намагничивания двигателя, следовательно, автоматическая настройка преобразователя Unidrive M701 не дает достаточно точных значений параметров двигателя.

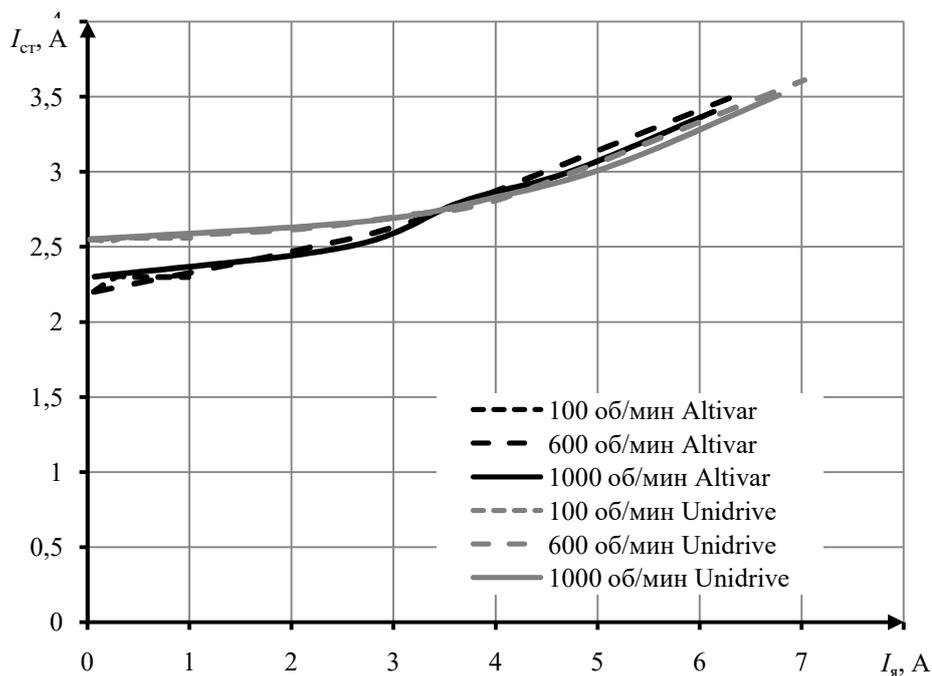


Рис. 6. Зависимости $I_{ст} = f(I_я)$ при векторном управлении

Исследование и анализ энергетических характеристик

Рассмотрим, энергетические характеристики преобразователей Unidrive M701 и Altivar 71 при векторном управлении при задании скорости 1000 об/мин, представленные на рис. 7. Из них видно, что преобразователь Unidrive M701 во всем диапазоне прилагаемых моментов поддерживает приблизительно одинаковую разность полной и активной мощности. Это свидетельствует о том, что $\cos\phi$ электропривода, равный отношению активной мощности к полной, растет с увеличением момента нагрузки. Преобразователь Altivar 71 дает гораздо большую разницу между активной и полной мощностями, что свидетельствует о более низком $\cos\phi$ электропривода с данным преобразователем.

Кроме того, потребляемая мощность Unidrive M701 на всем диапазоне моментов находится ниже аналогичного параметра у Altivar 71.

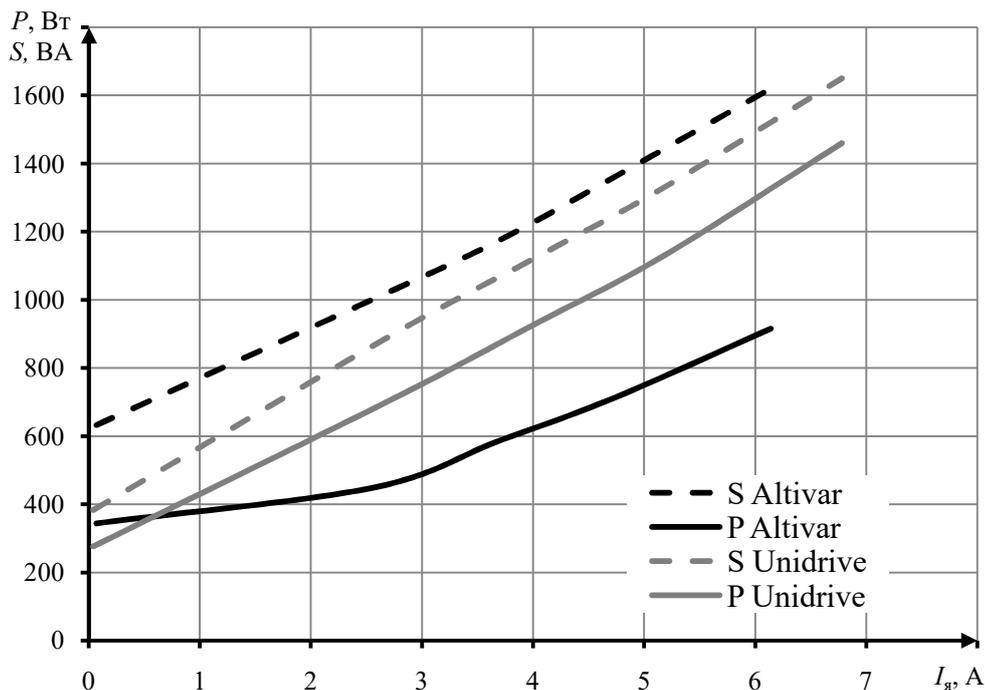


Рис. 7. Энергетические характеристики при векторном управлении

Таким образом, преобразователь Unidrive M701, показывает более выигрышные энергетические показатели, что дает основания полагать, что данный преобразователь может использоваться для приводов с повышенными требованиями к энергосбережению.

Список литературы

1. Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие / Ю.С. Усынин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 358 с.
2. SinamicsG120 Модульный преобразователь частоты: компактный безопасный и надежный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/mc/InfocenterLanguagePacks/SINAMICS%20G120%20-%20The%20modular%20frequency%20converter/E80001-A400-P210-V5-5600.pdf> (дата обращения 30.03.17).
3. Преобразователи частоты Altivar 71 и Altivar 71 Plus каталог 2012. – Режим доступа: http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=МКР-САТ-АТV71-12&p_EnDocType=Catalog&p_File_Id=9872425&p_File_Name=АТV_71_cat_2012.pdf (дата обращения 4.04.17).
4. UnidriveM700 Электропривод переменного тока для асинхронных двигателей и серводвигателей с постоянными магнитами. – Режим доступа: http://www.driveka.ru/upload/iblock/845/unidrive%20m700_ru%20xp.n.%200778-0039-01%20nov12c.pdf (дата обращения 7.04.17).

5. Электродвигатели АИС. – Режим доступа: http://www.artr.ru/Motor/ArmaTrade_Motor_AnisObProm/ArmaTrade_Motor_AnisObProm_AIS.htm (дата обращения 7.04.17).

6. Электродвигатели ПЗ1М. – Режим доступа: http://pzep.biz/catalogue/direct-current_motor/p31m (дата обращения 10.04.17).

7. Электромагнитная совместимость при использовании преобразователей частоты. – Режим доступа: <http://www.driveka.ru/resheniya/1148.html> (обращение 10.04.17).

8. Трехфазные моторные дроссели. – Режим доступа: http://ru.elhand.pl/pub/File/Produkty/Dlawiki/RU/Dlawiki_trojfazowe_silnikowe_ED3S_dla_roznych_przemienников_czestotliwosci_RU.pdf (обращение 15.04.17).

9. Цифровые мультиметры DMK20, DMK50. – Режим доступа: http://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I132RU06_06.pdf&ic=110 (дата обращения 15.04.17).

10. Переключатели ПГК, ПГГ. – http://www.eandc.ru/pdf/pereklyuchateli/pgk_pgg.pdf (обращение 15.04.17).

11. Трансформаторы ОСМ1. – Режим доступа: http://www.promelectrica.ru/catalog/transformatory/543678/osm1_0_63u3_transformator_ponizhayuschiy_0_63_kva/ (обращение 26.04.17).

12. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – Ч. 2. – 193 с.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ С ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

В.С. Климаш¹, Б.Д. Табаров²

ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре

E-mail: ¹klimash@yandex.ru, ²behruz.tabarov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены принципы построения гибридного электронно-электрического аппарата для быстрого отключения короткого замыкания, безударного включения трансформаторной подстанции с ограничением электродинамической усилий, пусковых токов и просадов напряжения. Предложен также способ выключения нагрузки без возникновения дуги на механических контактах гибридного аппарата.

Ключевые слова: моделирования, трансформаторная подстанция, гибридный аппарат, управление тиристорами, пускорегулирующее устройство, пусковое квазистационарные и аварийные режима.

Гибридный электронно-электрический аппараты [2] предназначают для систем электропривода и электроснабжения. В настоящее время трансформаторной подстанции комплектуют только электрическими аппаратами, которая не обеспечивают управляемые включения и выключения.

Применение тиристорных пускателей для трансформаторной подстанции сдерживается тем, что по сравнению с механическими контактами на них выделяется большое количество тепла.

Предлагаемый гибридный электронно-электрический аппарат устраняет недостатки, которые возникают при применении электрических аппаратов с механическими контактами и позволяет управлять процессами включения, отключения и регулирования напряжения у трансформаторной подстанции и у потребителей электроэнергии.

Для исследования штатной и новой схемы трансформаторной подстанции разработана математическая модель в среде MatLab. На рис. 1, представлено математическая модель силового трансформатора (СТ) с пускорегулирующим устройством. В её состав входит сеть, высоковольтный выключатель (ВВ), силовой модуль, система управления, силовой трансформатор (СТ), измерительные приборы, трехфазная активно-индуктивная нагрузка и вспомогательные элементы.

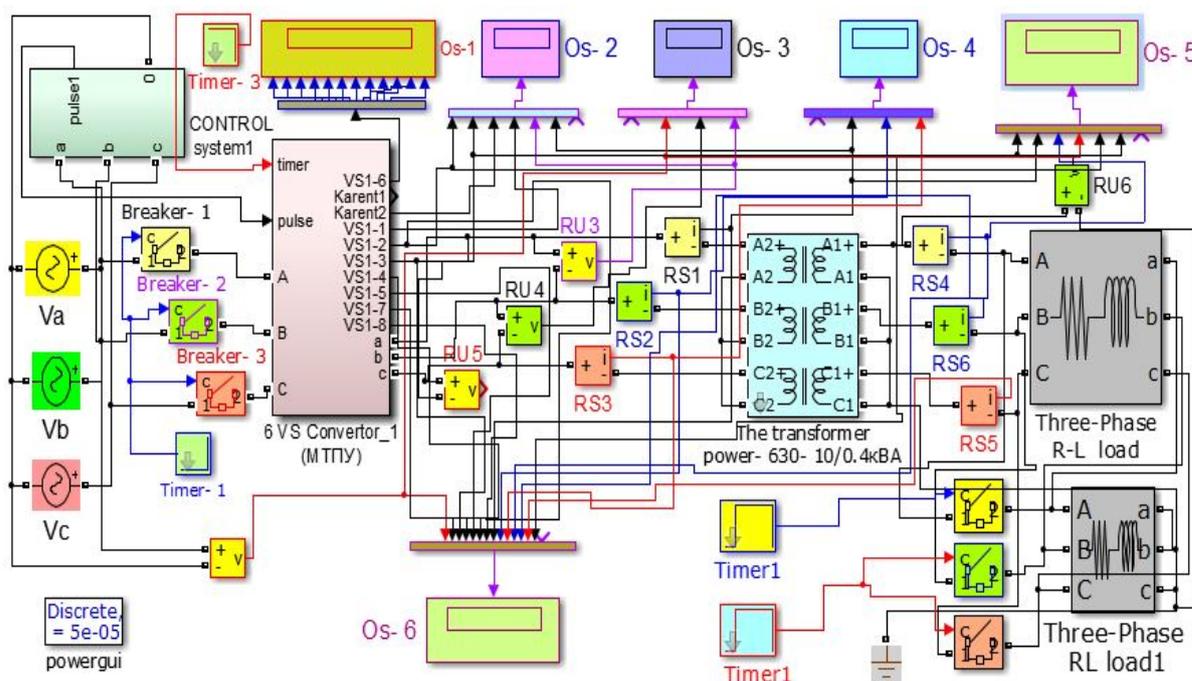


Рис. 1. Математическая модель трансформаторной подстанции с пускорегулирующим устройством

Включение трансформаторной подстанции с помощью гибридного аппарата выполняется по специальному способу [3]. Алгоритм включения трансформатора заключается в том, что после включения высоковольтного выключателя ВВ, при отключенном контакторе к СТ прикладывается напряжение через тиристорный блок VS. Сначала тиристорными ключами VS подключают две фазы первичной обмотки СТ к соответствующим фазам сети в момент перехода фазного напряжения третьей фазы сети через ноль, а затем подключают к сети третью фазу в момент перехода линейного

напряжения двух других фаз сети через ноль. В завершение процесса включения СТ параллельно тиристорным ключам подключают трехфазный дроссель посредством трехфазного контактора.

Выключение силового трансформатора СТ подстанции без возникновения электрической дуги, коммутационных потерь и перенапряжений производится в три операции.

Сначала перед выключением контактора АС, тиристорные ключи VS переводят в полностью открытое состояние (первая операция, угол управления α уменьшается до угла φ), обнуляя ток через контакты контактора и дроссель.

Затем производят выключение контактора (вторая операция) и на завершающей стадии, отключения силового трансформатора (третья операция), снимают управляющие импульсы с тиристорных ключей VS, и они в результате естественных процессов в первичной цепи СТ выключаются без коммутационных потерь.

Результаты исследования трансформаторной подстанции с гибридным аппаратом:

Процессы включения СТ подстанции при номинальном напряжении сети и отключение его при КЗ с электрическим аппаратом показаны для трех фаз (рис. 2, а) и для одной фазы А (рис. 2, б). На рис. 2 введены следующие обозначения: 1 и 2 – фазное напряжение сети и нагрузки; 3 и 4 – ток нагрузки и сети; 5 и 6 – ток дросселя и тиристоров.

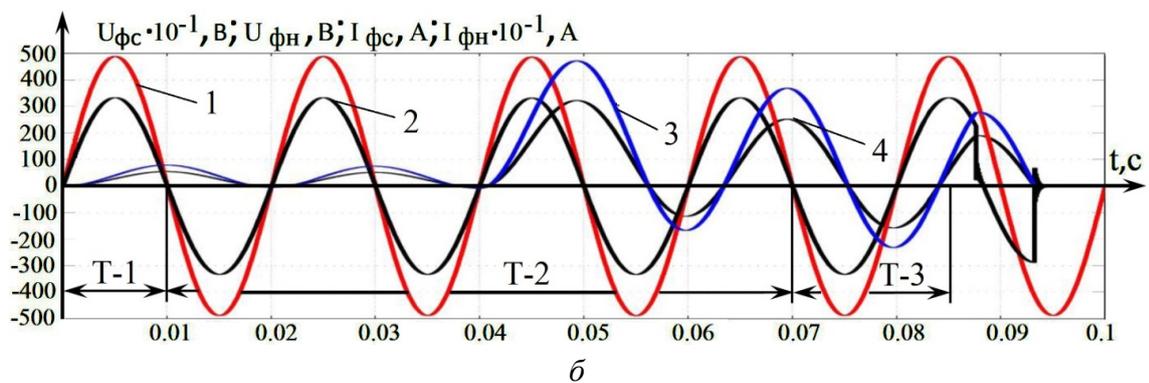
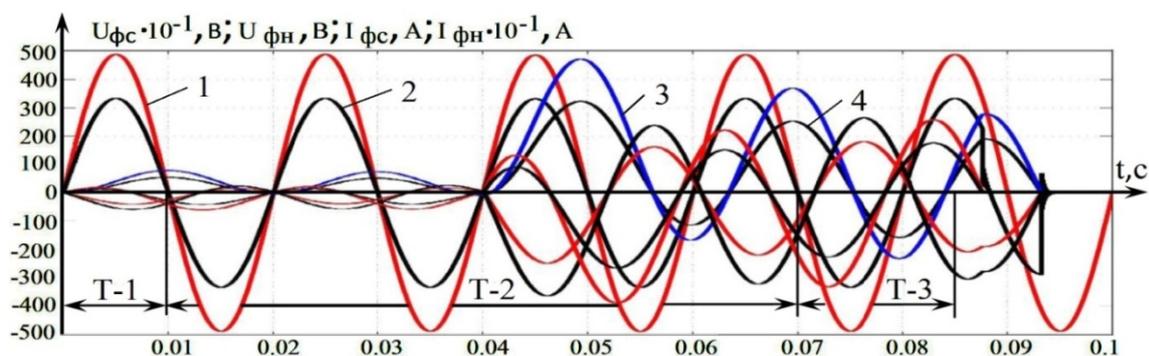
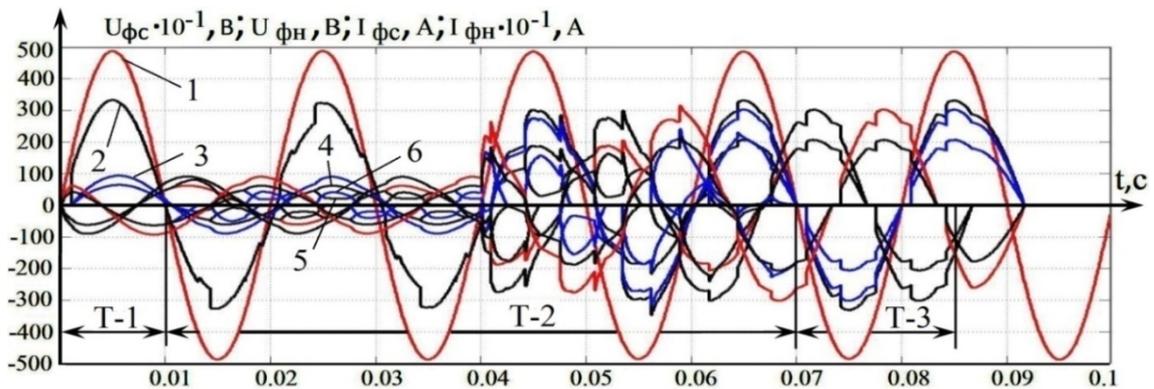


Рис. 2. Осциллограммы токов, напряжений СТ и нагрузки с электрическим аппаратом при аварийном отключении по штатной схеме

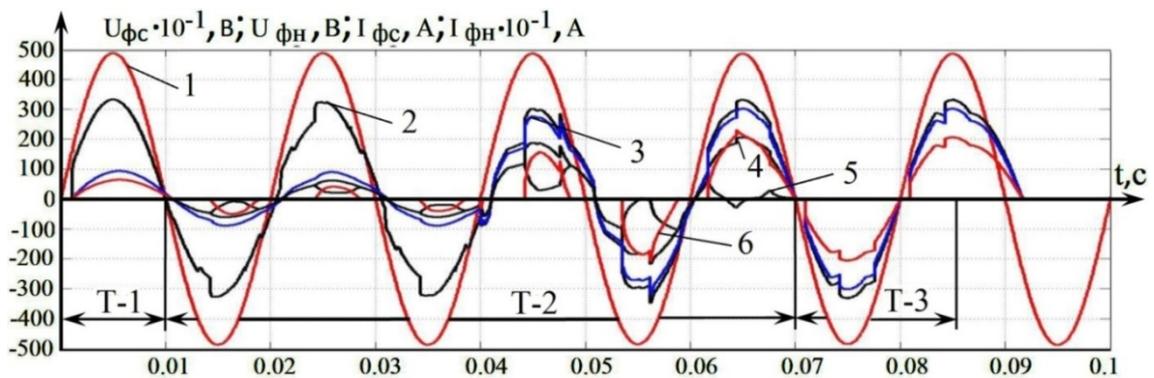
На этих осциллограммах показаны временные интервалы коммутационных процессов. На интервале Т-1 высоковольтный выключатель одновременно подключает три фазы первичной обмотки силового трансформатора к соответствующим фазам сети. На интервале Т-2 в момент времени $t = 0,04$ с, возникает трехфазное КЗ в нагрузке и проходит переходной процесс с неравномерным распределением магнитных потоков в обмотках трансформатора. На интервале Т-3 срабатывает токовая защита от КЗ и отключает выключатель.

Из этого численного эксперимента в аварийном режиме выяснилось, что внезапное КЗ создает несимметричное действие токов и электродинамические усилия на обмотки трансформатора с большими динамическими ударами.

Рассмотрим результаты отключения КЗ ТП по новой схеме. Их иллюстрируют осциллограммы приведенные для трех фаз (рис. 3, а) и для одной фазы А (рис. 3, б). На рис. 3 надписи обозначают следующие: 1 и 2 – фазное напряжение сети и нагрузки; 3 и 4 – ток нагрузки и сети; 5 и 6 – ток дросселя и тиристоров.



а



б

Рис. 3. Осциллограммы токов, напряжений СТ и нагрузки с гибридным электронно-электрическим аппаратом при аварийном отключении по новой схеме

На этих осциллограммах показаны временные интервалы коммутационных процессов. На интервале Т-1 тиристорными ключами включаются две фазы В и С с последующим включением через четверть периода фазы А и подачей напряжения на катушку контактора. На интервале Т-2 на СТ подается номинальное напряжение. Для этого при включенном контакторе и дросселе производится увеличение угла α с 15 до 75 град. На интервале Т-3 в результате КЗ в нагрузке сработывает токовая защита с предварительным шунтированием дросселя тиристорными ключами и последующим снятием управляющих импульсов с тиристоров.

Естественное отключение СТ однооперационными тиристорами протекает следующее образом. Первой отключается та из фаз, ток в которой раньше, чем в остальных фазах перейдет через ноль, а затем отключаются две оставшиеся фазы при переходе через ноль общего для них тока.

Из результата исследования аварийного режима новой схемы ТП можно сделать следующие выводы:

При возникающие КЗ пускорегулирующее устройство не допускает скачкообразного увеличения токов ТП, снижает электродинамические усилия на обмотки СТ.

Выключения СТ при КЗ в нагрузке производится без возникновения электрической дуги между механическими контактами контактора в цепи реактора и соответственно в цепи высоковольтного выключателя.

По этим результатам намечена новая программа дальнейших исследований в замкнутой системе автоматического регулирования с разработкой электронного блока автоматического управления.

В рамках этой программы предусмотрены ряд инновационных проектов направленных на повышение энергетической эффективности и увеличения срока службы энергетического оборудования систем промышленного электроснабжения.

Список литературы

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink, издание второе. – М., 2014.
2. Розанов Ю. К. Электронные устройства электромеханических систем. – М., 2004.
3. Патент на изобретение 2622890 Российская Федерация, МПК⁵¹ H02M 5/257 (2006.01). Способ включения, выключения и регулирования напряжения трансформаторной подстанции / Климаш В.С. (RU), Табаров Б.Д. (RU), Гетопанов А.Ю. (RU) . № 2016131037/07; заявл. 27.07.2016; опубл. 21.06.2017. – Бюл. № 18.

4. Клиماش В.С., Табаров Б.Д. Исследование входного тока трансформаторной подстанции при работе от магнито-тиристорного пускорегулирующего устройства. WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2017. – С. 167–170.

5. Клиماش В.С., Табаров Б.Д. Исследование пускорегулирующего устройства при стабилизации напряжения на высокой стороне трансформаторной подстанции. Сборнике материалов 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, г. Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г. – С. 1045–1048.

6. Свидетельство РФ № 20166160006 о регистрации программа для ЭВМ «Программа математической модели в среде Matlab магнито-тиристорного пускорегулирующего устройства трансформаторной подстанции». Клиماش В.С. (RU), Табаров Б.Д. (RU). –Бюл. № 5, 20.06.16.

7. Иванов А.Г. Системы управления полупроводниковыми преобразователями / А. Г. Иванов Г.А. Белов, А.Г. Сергеев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. – 448 с.

8. Пат. 166559 Российская Федерация, МПК⁵¹ Н 02 М 5/00, Н 02 Р 13/00. Пускорегулирующее устройство на стороне высокого напряжения трансформаторной подстанции / Клиماش В.С. (RU), Табаров Б.Д. (RU), Гетопанов А.Ю. (RU). № 2016121772/07; заявл. 01.06.2016; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.

9. Клиماش В.С., Табаров Б.Д. Принципы построения пускорегулирующего устройства для трансформаторных подстанций // Омский научный вестник. Сер. Электротехника. – 2017. – № 5 (155).

УДК 621.313

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е.А. Клименко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: blablabla_9-1994@mail.ru

Аннотация. Работа выполнена с целью разработки стенда, осуществляющего обследование и испытание асинхронных двигателей напряжением до 1000В, прошедших капитальный ремонт.

Ключевые слова: стенд, асинхронный двигатель, испытания, капитальный ремонт, контрольно-измерительные приборы, устройства защитного отключения.

Объектом исследования является стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей напряжением до 1000 В.

Цель работы – разработать стенд для обследования и испытания асинхронных двигателей после капитального ремонта с целью формирования заключения о качестве проведенного ремонта.

В настоящее время существует проблема оценки состояния асинхронных двигателей напряжением до 1000 В отправляемых в ремонт и возвращаемых из капитального ремонта. Оценка состояния асинхронных двигателей необходима для снижения затрат на монтажно-демонтажные работы и выполнение дополнительных работ по рекламациям.

Стенд для обследования и испытания двигателей после капитального ремонта должен обеспечивать подачу напряжения и измерять параметры исследуемого объекта в следующих пределах: мощность испытываемого двигателя; регулирование напряжения питания; измерение коэффициента диэлектрической абсорбции; измерение электрического тока; измерение напряжения на нагрузке; измерение сопротивления изоляции; измерение сопротивления обмоток; измерение температуры подшипниковых узлов; измерение уровня вибрации в трех плоскостях; измерение частоты вращения; измерение коэффициента поляризации.

В результате, был выбран состав стенда на базе кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, который включает в себя главную стойку и контрольно-измерительные приборы. Главная стойка стенда предназначена для крепления шкафа с монтажной платой. Она включает: дно с крышкой; стойки; монтажную плату с системами управления и автоматики испытательного стенда; принадлежности для поддержки монтажной платы; рейки; полки; гайки. Для коммутации токов цепи в нормальных режимах и для автоматической защиты электрических сетей, двигателей и оборудования от аварийных режимов используются автоматические выключатели; для пуска электродвигателя применяются магнитные пускатели. Стенд также включает контрольно-измерительные приборы: персональный компьютер, модуль ввода параметров электрической сети, модуль дискретного вывода, модуль ввода аналоговых сигналов, микроомметр, мегаомметр, датчик вибрации, термопреобразователи сопротивления.

Система управления стендом построена на программной реализации алгоритма управления. Алгоритм заложен в коде программы и позволяет запускать отдельные части по команде оператора. Программа работает следующим образом. Изначально производится инициализация всех требуемых процедур и устройств связи. После запуска программа осуществляет постоянный контроль портов связи и принимает данные, поступившие

в них. Основной частью программы является модуль сбора данных с приборов, осуществляющих контроль и рассылка команд исполнительным. Программа обладает мощным графическим интерфейсом, позволяющим визуализировать процесс испытания и отображать результаты в удобном для восприятия виде.

Результатом работы программы является формирование протокола испытаний и заключения о состоянии асинхронного двигателя и вывод на печать или сохранение его в архиве протоколов. Испытательный стенд представляет собой отдельное устройство с силовой частью, реализующей алгоритмы диагностирования в соответствии с программой испытаний, осуществляющее функции подачи питания, защиты и управления.

Список литературы

1. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний: ГОСТ 7217-87. – Изд. авг. 2003 с Изм. 2 (ИУС. 2001. № 19). – введ. 01.01.1988.
2. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний: ГОСТ 11828-86. – Изд. авг. 2003 с Изм. 2 (ИУС. 2001. № 19). – Введ. 01.07.1987.
3. Двигатели асинхронные. Общие технические условия: ГОСТ 16264.1-85. – Изд. дек. 1993 с Изм. 2 (ИУС. 1994. № 11-12). – Введ. 01.01.1986.

УДК [621.316.925+621.318.5] (045)

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ФИЛЬТРОВ ФУРЬЕ В УСТРОЙСТВАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ И НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВХОДНЫХ СИГНАЛАХ

В.С. Ковженкин, Л.В. Вайтеленко¹

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» в г. Смоленске

E-mail: ¹larisa.vaytelenok.786@mail.ru

Аннотация. В статье производится оценка точности вычислений параметров входных несинусоидальных и нестационарных сигналов при помощи фильтров Фурье. Получены зависимости погрешности от величины декремента затухания и от используемого числа выборок при наличии в сигнале ярко выраженной аперидической составляющей. Также исследована зависимость погрешности при частоте входного сигнала, отличной от промышленной. Приведены рекомендации по улучшению рассматриваемого алгоритма.

Ключевые слова: фильтры Фурье, релейная защита, цифровая обработка сигналов, аперидическая составляющая, частота, дискретное преобразование Фурье.

Для оценки параметров входных сигналов в современных микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА) применяются различные способы цифровой обработки и фильтрации [1]. Одним

из них является алгоритм на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ), которое применяется в цифровой технике для определения гармонического или частотного состава сигнала. Для ДПФ входными данными служит последовательность $x(n)$, состоящая из N -отсчетов входного сигнала, полученных путем аналого-цифрового преобразования. В результате ДПФ получается дискретный набор спектральных составляющих сигнала $X(m)$:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \exp\left(\frac{-j\pi \cdot n \cdot m}{N}\right),$$

где m – индекс ДПФ в частотной области; $m = f_{anal}N/f_s$ (f_{anal} – частота анализа сигнала; f_s – частота дискретизации).

Для устройств РЗиА данное преобразование выполняется не для всей частотной оси, а только для промышленной частоты $f_{anal} = f_0 = 50$ Гц. Таким образом, амплитуда первой гармоники входного сигнала будет определяться по комплексному выражению:

$$X(nT) = \frac{2j}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \exp(-2j \cdot \pi \cdot f_0 nT),$$

где $T = 1/f_s$ – период дискретизации сигнала.

В цифровых фильтрах устройств РЗиА данное выражение раскладывается на ортогональные составляющие, в результате чего выполняется отдельно синусное и косинусное преобразование:

$$X_s(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot nT),$$

$$X_c(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot nT).$$

Необходимые для функционирования защиты значения модуля $|X|$ и фазы φ принужденной составляющей сигнала вычисляются следующим образом:

$$|X| = \sqrt{X_c^2(nT) + X_s^2(nT)}; \quad \varphi = \arctg \frac{X_c(nT)}{X_s(nT)}.$$

Как показывают исследования [2], фильтры, основанные на ДПФ, имеют хорошие частотные свойства для стационарных сигналов в пределах окна измерения: погрешность измерений на частоте первой гармоники отсутствует, а также происходит фильтрация всех высокочастотных составляющих, кратных 50 Гц.

Однако при возникновении какого-либо возмущения в электроэнергетической системе сигналы на входе устройств РЗА уже не будут являться стационарными и синусоидальными. В них может присутствовать как ярко выраженная апериодическая составляющая, так и гармоники, не кратные основной частоте сети. Помимо этого возможно отклонение частоты от номинального значения.

Целью данной работы является оценка погрешностей вычислений параметров входных сигналов при их несинусоидальности и нестационарности.

Несинусоидальность входных сигналов может быть вызвана, как уже упоминалось, наличием апериодической составляющей, которая в дискретном виде описывается следующим выражением:

$$x_a(nT) = X_a \cdot \exp(-nT/\tau) = X_a \cdot \exp(-n\gamma T),$$

где X_a – начальное значение составляющей; τ – постоянная времени; $\gamma = 1/\tau$ – декремент затухания переходного процесса.

Анализируя данное выражение, можно сделать вывод, что на результат фильтрации будет влиять как величина начального значения данной составляющей и декремент затухания переходного процесса, то есть параметры электроэнергетической системы, так и параметры цифровой обработки, используемые в устройстве, а именно, величина периода дискретизации сигнала T или число выборок за период промышленной частоты $N = T_0/T$.

Поэтому в работе сначала было проведено исследование погрешности от величины γ при постоянном значении $N = 20$. Предполагалось, что входной сигнал имеет следующий вид:

$$x(t) = X_m \cdot \sin(\omega_0 t) + X_a \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right),$$

где $X_m = X_a = 1$ – амплитуда сигнала промышленной частоты; угловая частота – $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 314$ рад/с. Полученные результаты представлены на рис. 1. Было получено, что максимальную погрешность (для модуля – около 25%) вносит апериодическая составляющая с декрементом затухания $\gamma = 120 \text{ с}^{-1}$. При больших значениях γ погрешность определения модуля сигнала незначительно снижается (до 23%), но при этом погрешность определения фазы сигнала продолжает увеличиваться. Следовательно, в этом случае возможна неправильная работа защит, функционирующих на основе измерений фаз сигналов.

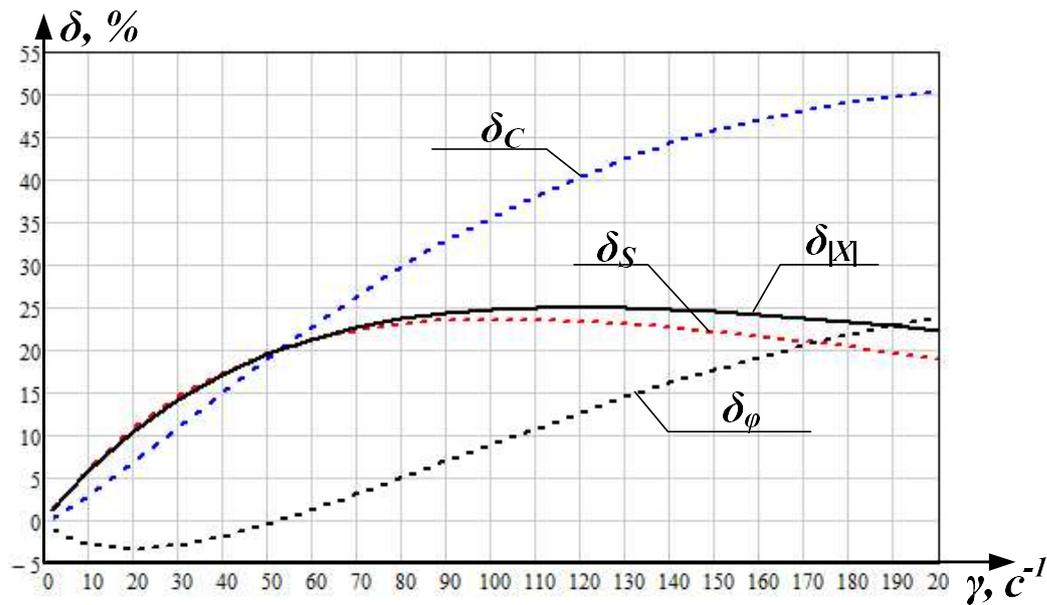


Рис. 1. Зависимость погрешности определения параметров входного сигнала от величины декремента затухания

Апериодическая составляющая затухает с течением времени, а следовательно, будет уменьшаться и вносимая ею погрешность. Для определения скорости затухания погрешности во времени было рассчитано ДПФ для сигнала, содержащего только апериодическую составляющую вида $x_a(t) = 1 \cdot e^{-t\gamma}$ при различных значениях γ для десяти периодов промышленной частоты. Результаты вычислений представлены на рис. 2.

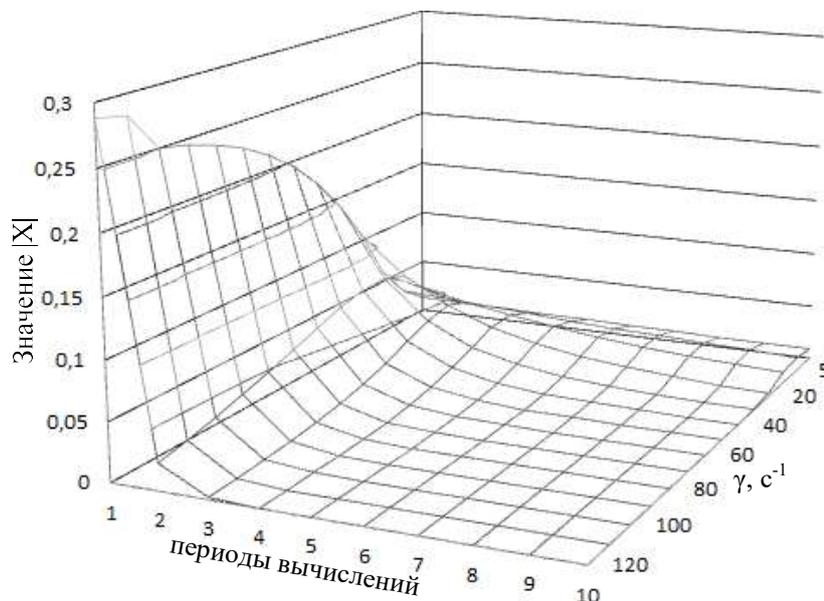


Рис. 2. Значения модуля апериодического сигнала $|X|$ при различных γ в разные периоды вычислений

При анализе полученной зависимости получено, что хотя для больших значений γ погрешность вычислений больше, чем при малых, но погрешность присутствует в выходном сигнале существенно меньшее время

(несколько периодов промышленной частоты). Для медленно затухающих аperiodических сигналов ($\gamma = 5 \div 10 \text{ с}^{-1}$) погрешность будет присутствовать даже после десяти периодов. Следовательно, в этом случае требуется отстройка не только от величины, но и по длительности аperiodической составляющей.

Для выявления влияния используемого в цифровом устройстве числа выборок N для сигнала $x(t)$ рассчитали величину $|X|$ для постоянного значения $\gamma = 120 \text{ с}^{-1}$ (для данного значения погрешность, как получено выше, максимальна). Полученная зависимость представлена на рис. 3.

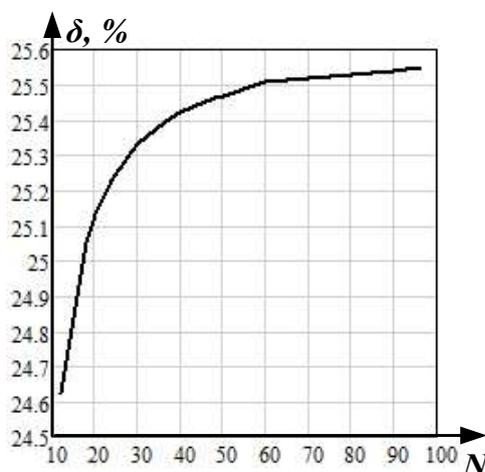


Рис. 3. Зависимость погрешности вычисления $|X|$ от применяемого числа N

Значительное увеличение погрешности наблюдается при изменении N от 12 до 30, далее скорость нарастания погрешности становится незначительной. В новых устройствах РЗиА, поддерживающих протокол МЭК 61850-6-2, применяется $N = 80$ [3], для которого погрешность на 0,5% больше, нежели для числа N , применяемых в действующих терминалах.

Таким образом, в виду существенной погрешности при наличии во входном сигнале аperiodической составляющей при проектировании новых устройств защиты необходимо применять дополнительные способы фильтрации.

Нестационарность входного сигнала может быть обусловлена изменением его частоты. При этом погрешность будет вызвана так называемым явлением утечки ДПФ, которое возникает при несовпадении частоты сигнала с частотой анализа f_{anal} [4].

Для оценки точности при нестационарном сигнале было рассчитано ДПФ по частоте 50 Гц при подаче на вход $N=20$ отсчетов (один период) синусоиды единичной амплитуды, с нулевой фазой при вариации частоты

от 40 Гц до 55 Гц. Данный диапазон частот выбран не столько из реально возможного отклонения в действующей энергосистеме, а по среднему из диапазонов гарантированных измерений, указанных большинством российских производителей в руководствах по эксплуатации терминалов защиты. Результаты расчетов синусной X_s , косинусной X_c и модульной $|X|$ составляющей представлены на рис. 4.

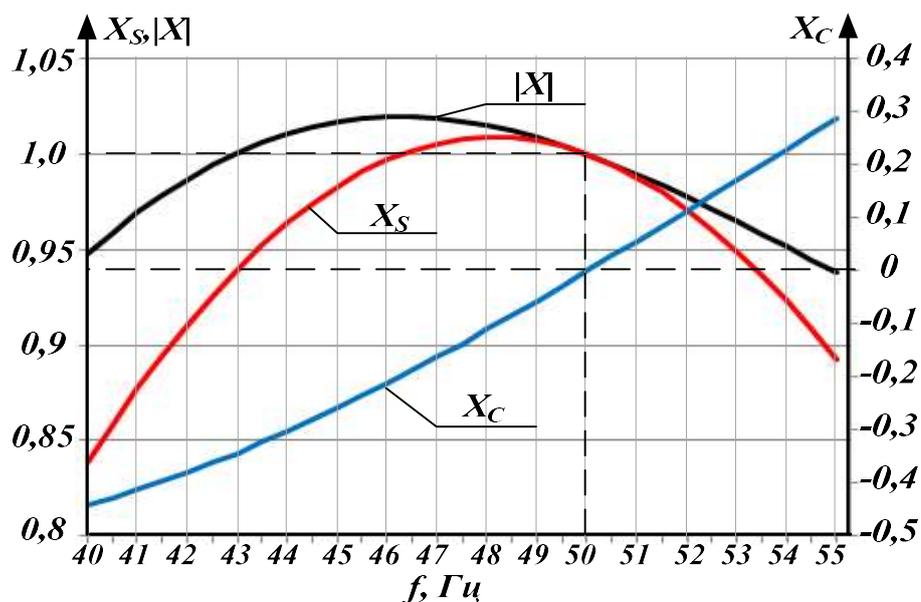


Рис. 4. Зависимости синусной, косинусной и амплитудной составляющих от значения частоты входного сигнала

Анализируя выше представленные графики можно сделать следующие выводы:

1) значение синусоидальной составляющей при отклонении частоты в сторону уменьшения увеличивается от истинного единичного значения до определенного максимума (соответствует частоте приблизительно 48,3 Гц), а затем уменьшается, а при отклонении частоты в сторону увеличения — уменьшается;

2) значение косинусоидальной составляющей уменьшается от истинного нулевого значения при отклонении частоты в сторону уменьшения, и увеличивается соответственно при увеличении частоты; такая же зависимость будет наблюдаться и для значения фазы сигнала;

3) зависимость амплитуды практически повторяет зависимость синусоидальной составляющей, причем при вариации частоты в пределах $\pm 0,5$ Гц относительная погрешность не превышает 0,5%. Максимальная погрешность отклонения от истинного единичного значения соответствует частоте 55 Гц и составляет 6,2%.

Для определения зависимости погрешности при вариации частоты от используемого числа выборок N было рассчитано также ДПФ при числе выборок $N=48$ (используется в некоторых современных блоках) и $N=80$ (согласно МЭК 61850-9-2). В результате получено, что максимальная погрешность также соответствует частоте 55 Гц, но можно отметить небольшое снижение её значения до $\delta=5,77\%$ для $N=48$ и $\delta=5,62\%$ для $N=80$ (рис. 5). В диапазоне частот от 48,3 до 52 Гц погрешности вычисления модуля практически равны для всех значений N . В то же время при частотах 42,5–48,3 Гц погрешность вычислений при $N=20$ меньше в среднем на 0,7%, а при более низких частотах, наоборот больше в среднем на 1,0%.

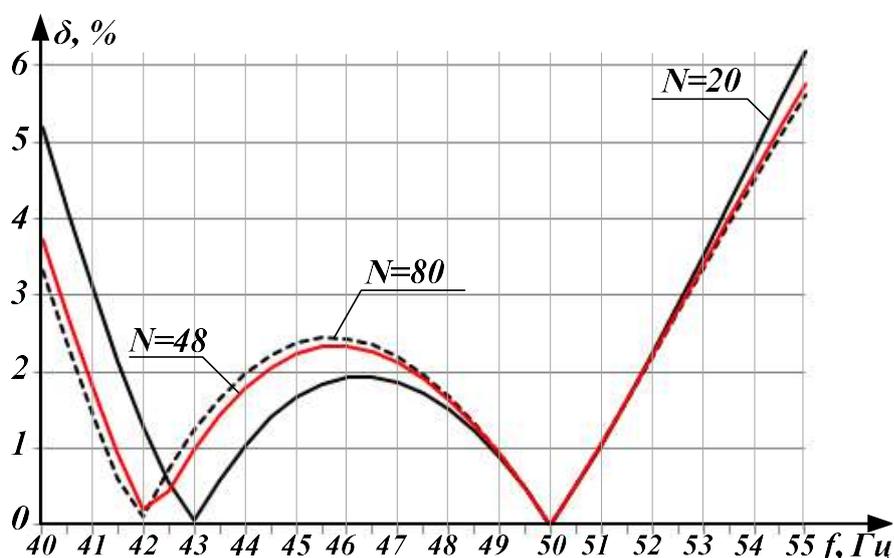


Рис. 5. Зависимость погрешности вычисления модульной составляющей сигнала при изменении частоты сети для различных значений N

Таким образом, при изменении частоты в системе нерекурсивные фильтры Фурье имеют значительные погрешности вычисления ортогональных составляющих сигнала. Необходимо также отметить, что при изменении частоты основной гармоники сигнала частоты всех кратных гармоник, присутствующих в сигнале, также изменят свое значение согласно формуле $f_q = q \cdot f_0$, где q – номер гармоники. А это, в свою очередь, приведет к появлению погрешности вычислений от влияния данных гармоник, так как коэффициент их усиления уже будет отличен от нуля.

Для уменьшения величины данной погрешностей возможно применение следующих мер:

- взвешивание окном (Хемминга, Блекмана, Ханна) входных данных, при этом уменьшается влияние утечки при отклонении частоты;

– использование специальных алгоритмов предварительного расчета частоты сигнала и вычисление коэффициентов фильтров для рассчитанной частоты;

– использование предварительной частотной фильтрации для исключения влияния высших гармоник и уменьшения влияния апериодической составляющей.

Список литературы

1. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

2. Вайтеленок Л.В. Исследование влияния отклонения частоты сети на точность обработки входных сигналов устройств РЗА не рекурсивными фильтрами Фурье // Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. трудов XIII науч.-техн. конф. 14–15 апреля 2016 г. – Т. 1. – Смоленск: Филиал МЭИ в г. Смоленске, 2015. – С. 9–13.

3. Аношин А.О., Головин А.Н. СТАНДАРТ МЭК 61850. Протокол передачи мгновенных значений тока и напряжения / А.О. Аношин, А.Н. Головин. – Новости Электротехники.-№2, 2013.

4. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.

УДК 618.5.015

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКОЙ

В.Ю. Корнилов¹, А.И. Мухаметшин²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹vkstbrus@gmail.com, ²mo2825@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время в нефтяной промышленности основными потребителями электроэнергии являются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором (АД КЗР), которые задействованы в процессе механизированной добычи, а также в поддержания пластового давления и подготовки нефти. При этом установленные электродвигатели имеют завышенную мощность и низкий коэффициент загрузки, потому как для запуска данных насосов требуется высокий пусковой момент. При этом возрастает доля потерь электроэнергии, поскольку уменьшается коэффициент полезного действия. Рост цен на энергоносители в последние годы делает все более важной разработку и применение энергосберегающих двигателей. Современный уровень техники в данной области – это двигатели, которые отвечают требованиям эффективности самого высокого класса IE4, как определено в IEC TS 60034-31.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, комбинированная обмотка, энергоэффективность, КПД, магнитодвижущая сила, потребляемая активная мощность, потребляемая реактивная мощность, потребляемый ток.

Вопрос повышения энергоэффективности электродвигателей остро стоит перед любой нефтедобывающей компанией. В настоящее время улучшение технико-экономических характеристик электродвигателей возможно осуществить двумя путями:

1. За счет увеличения в конструкции доли применения дорогих металлов с меньшим удельным сопротивлением, но это приводит к увеличению массы и стоимости (примерно на 20–30%), к тому же при этом придется покупать новый электродвигатель, так как отремонтировать по данной технологии старые электродвигатели невозможно.

2. За счет изменения схем соединения обмотки статора и(или) ротора. Данную технологию можно применить при капитальном ремонте существующих АД, при этом затраты на ремонт увеличатся незначительно.

При замене трехфазных обмоток на нестандартные обмотки «звезда в треугольнике» расход меди остается на прежнем уровне. Благодаря этому магнитодвижущая сила в воздушном зазоре асинхронной машины приобретает более правильную «синусоидальную» форму, тем самым уменьшаются магнитные потери вызванные токами высших гармоник.

В процессе исследований были разработаны схемы электрических соединений и рассчитаны обмоточные данные для следующих энергоэффективных асинхронных двигателей: 5АМХ160S2, АИР100L2, АИР180М8 СНБУ1. Асинхронные двигатели отличались между собой числом пар полюсов ($2p = 2$, $2p = 4$, $2p = 6$, $2p = 8$, $2p = 12$) номинальной мощностью, количеством пазов, длиной статора, диаметром статор.

Опытно-промышленные испытания проводились путем сравнения энергетических показателей серийных АД КЗР с модернизированными АД КЗР при одинаковой неизменной нагрузке.

Модernизированные АД КЗР АИР100L2 и 5АМХ160S2 были установлены на объектах котельной «Космос» ООО «ТеплоЭнергоСервис», а именно на насосе системы горячего водоснабжения К-65-50-160 (АД КЗР АИР100L2) и на насосе системы теплоснабжения зданий К-80-50-200 (АД КЗР 5АМХ160S2). Опытно-промышленные показали энегосберегающий эффект по активной мощности в размере 1,25% для АМХ160S2 и 6,24% для АИР100L2.

Модernизированные АД КЗР АИР180М8СНБ были установлены на штанговые глубинные насосные установки нефтяных скважины № 11010, № 11011, № 11012 АО «Татойлгаза». Опытно-промышленные испытания показали экономию потребляемой активной мощности на 2,5–7,9%, снижение потребляемой реактивной мощности на 25–31%, снижение потребляемого тока на 17–25% и повышение $\cos\varphi$ на 25–50%.

Так же пятнадцать модернизированных АД КЗР были установленные на штанговые глубинные насосы нефтяных скважин НГДУ «Нурлатнефть». Проведенные исследования показали:

1. Снижение потребляемой активной мощности на 6,4%.
2. Снижение потребляемой полной мощности на 16,8%.
3. Снижение потребляемой реактивной мощности на 17,6%.
4. Снижение пускового тока на 12,4%.
5. Увеличению пускового тока на 43%.
6. Удельный расход электрической энергии на добычу одной тонны жидкости снизился с 7,61 до 6,93 кВт/т. Снижение составляет 8,94%.

Разработанная технология производства и ремонта энергоэффективных АД апробирована на двадцати шести асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором и показала свою экономическую целесообразность и конкурентоспособность.

УДК 621.34

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

А.Б. Кузнецов

НПП «ГКС», г. Казань
E-mail: kuznetsov_b@rambler.ru

Аннотация. Приведены основные положения методики сравнительной оценки качества преобразователей частоты, применяемых в автоматизированном электроприводе на ранних стадиях их внедрения или разработки (в условиях неопределённостей)

Ключевые слова: преобразователь частоты, показатели качества, система показателей, информационная ситуация, техническая характеристика, критерий

При внедрении и обосновании стоимостных показателей преобразователей частоты возникает необходимость согласования их значений с требованиями к другим показателям качества (назначения надежности, стандартизации и унификации и др.). Данную проблему на ранних стадиях внедрения или разработки автоматизированных электроприводов (в условиях неопределенностей) целесообразно решать методами сравнительной оценки вариантов изделий, т.е. выбора альтернативного варианта из сравниваемых между собой.

Информационные ситуации, возникающие при сравнении вариантов преобразователей частоты (далее – изделий) по наиболее полной совокупности технических характеристик укладываются в следующую схему.

Имеется n сравниваемых между собой изделий $(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$. Каждому из них поставлена в соответствии совокупность m технических характеристик (в том числе и стоимостные), определяющие его эффективность $(q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m)$.

Если x_{ji} – j -я техническая характеристика i -го изделия, то показатель

$$f_{ji} = \frac{x_{ji}}{x_{jэ}} \quad \text{или} \quad f_{ji} = \frac{x_{jэ}}{x_{ji}}, \quad (1)$$

отражает относительный уровень j -й характеристики i -го изделия по сравнению с выбранным эталонным (табл. 1).

Таблица 1

Таблица сравнения вариантов образцов

Технические характеристики	Сравниваемые (образцы) изделия				
	A_1	...	A_i	...	A_n
$q_1(P_1)$	f_{11}	...	f_{1i}	...	f_{1n}
...
$q_j(P_j)$	f_{j1}	...	f_{ji}	...	f_{jn}
...
$q_m(P_m)$	f_{m1}	...	f_{mi}	...	f_{mn}

Требуется определить наиболее предпочтительное изделие с учетом объективно существующей неопределенности в оценке влияния каждой конкретной технической характеристики на их эффективность. В рамках изложенного возможны несколько информационных ситуаций, отражающих условия и роль характеристик в формировании обобщенного показателя эффективности.

Большинство информационных ситуаций для сравнения вариантов изделий сводится к применения критерия Байеса

$$b_i = \sum_{j=1}^m P_j f_{ij}, \quad (2)$$

где P_j – вес j -й характеристики в формировании обобщенного показателя эффективности, причем $\sum_{j=1}^m P_j = 1$.

Затем формируется кортеж предпочтительности и осуществляется выбор изделия (варианта) более высокого качества (более предпочтительным является изделие с меньшим значением b): $b_1 \langle b_2 \dots \langle b_i \dots \langle b_n$.

При самой неблагоприятной информационной ситуации (т.е. когда отсутствует информация о роли и предпочтениях характеристик) используются: принцип потенциального распределения вероятностей; максиминный (минимаксный) критерий Вальда; критерий минимального риска Севиджа; критерий пессимизма-оптимизма Гурвица и др.

УДК 621.313 + 621.548

ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В.И. Курир

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

E-mail: kurir_valerian@mail.ru

Аннотация. В статье приведён анализ основных электрогенераторов ветроэлектроустановок (ВЭУ).

Ключевые слова: ветроэнергетика, ВЭУ, электрогенератор.

Обратимся к специальной литературе, посвященной техническим вопросам ветроэлектроэнергетики. Проведём анализ существующих электрогенераторов для ВЭУ, основываясь на соответствующие разработки.

Среди генераторов, используемых в ВЭУ, следует отметить следующее [1]:

1. Установлено, что в автономных электрических сетях, при использовании ВЭУ мощностью до 200 кВт, рекомендуется применение синхронных генераторов (СГ) с постоянными магнитами (СПМ), которые имеют преимущества по мощности, экономическим показателям, малому количеству потерь и КПД. В рабочей зоне (воздушном зазоре), с помощью таких магнитов, мы можем получить значение магнитной индукции до 0,8–0,9 Тл, что в некоторых случаях даже превышает значение индукции, получаемое при электромагнитном возбуждении. При такой работе между генератором и сетью устанавливают полупроводниковый преобразователь частоты.

2. СГ классической конструкции с электромагнитным возбуждением монтируются на установках либо малой, либо очень большой мощности. Технология изготовления и опыт расчета таких машин позволяет устанавливать мощные безредукторные установки (мощностью до 2 МВт) с хорошими структурными показателями, высоким КПД и возможностью регулировать напряжение в широких пределах за счет изменения тока возбуждения. У СГ существует жесткая зависимость частоты генерируемой ЭДС от скорости вала. Если ветер порывистый, то в генераторе образуются высокие значения переменных составляющих в режимных параметрах

и вместе с сетью работа таких генераторов ухудшается. Это ограничивает, а в регионах с резкими переменными ветрами делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть. При такой работе между генератором и сетью устанавливают полупроводниковый преобразователь частоты.

3. Асинхронный бесконтактный генератор (АГ) с ёмкостным возбуждением может быть предложен в качестве автономного источника мощностью до 100 кВт. Для этого генератор снабжается стабилизаторами напряжения и частоты тока на непосредственных преобразователях частоты [2].

4. Асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ). Это, как правило, асинхронные генераторы с фазным ротором [3]. У АСГ к симметричному в магнитном отношении ротору, через три кольца, к трехфазной (иногда, двухфазной) обмотке возбуждения подводят напряжение, величина и фаза которого изменяется пропорционально скольжению. Регулирование напряжения возбуждения осуществляется за счет преобразователя частоты.

Технические характеристики мировых производителей ВЭУ приведены в табл. 1.

С целью борьбы с непостоянством скорости ветра в конструкцию ВЭУ встраиваются мультипликаторы и контроллеры [2, 3]. Допустимо микропроцессорное управление ВЭУ мощностью 1МВт и выше или сети ветроэлектростанций средней мощности.

Таблица 1

Технические характеристики мировых производителей [7]

Фирма-производитель	Страна-производитель	Модель ВЭУ	Номинальная мощность ВЭУ, кВт	Наличие мультипликатора
Enercon	Германия	E-E2 82/2000 kW	2000	Отсутствует
Repower	Германия	MM100	2000	Есть
Suzlon	Индия	S97	2100	Есть
Nordex	Германия	N117	2400	Есть
Fuhrlaender	Германия	FL 2000	2050	Есть
Gamesa	Испания	G97	2000	Есть 1:106,8
Siemens	Германия	SWT-2,3-82 VS	2300	Есть 1:91
Siemens	Германия	SWT-6,0-154	6000	Отсутствует
Vestas	Дания	V80	2000	Есть
Vestas	Дания	V110	2000	Есть

Окончание таблицы 1

Фирма-производитель	Тип применяемого генератора	Возможность работы с переменной скоростью	Рабочий диапазон, м/с	Номинальная скорость ветра, м/с
Enercon	Многополюсный СГПМ	Да	6–31	17,5
Repower	АГФР	Да, 12,5%	3–22	11
Suzlon	АГФР	Да	3,5–25	11
Nordex	АГФР	Да	3–20	
Fuhrlaender	АГФР	Да	3,5–25	12,5
Gamesa	АГФР	Да		
Siemens	АГКЗР	Да	4–25	13,5
Siemens	Многополюсный СГПМ	Да	4–25	12–14
Vestas	АГФР	Да	3,5–25	14,5
Vestas	АГФР	Да	20	1,5

Дополнительным способом борьбы с непостоянством скорости ветра является комбинирование ВЭУ с дизельными установками, генерирующими электроэнергию [4–6], а также дополнительное встраивание в схему ВЭУ накопителя электроэнергии большой мощности (АББЭ). Установка в ветроэнергосеть устройств и систем на основе силовой электроники (FACTS, FACDS, HVDC, B2B) приветствуется.

Список литературы

1. Бубенчиков А.А., Дайчман Р.А., Артамонова Е.Ю., Бубенчикова Т.В., Гафаров А.А., Гаибов И.А. Выбор оптимального генератора для ветроустановки // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10. – Ч. 2. – С. 18–22.
2. Григораш О.В., Квитко А.В., Петренко Ю.М. Стабилизатор напряжения и частоты ветроэнергетической установки // Труды КубГАУ. – 2010. – № 5. – С. 141–144.
3. Мазалов А.А. Адаптивная ветроустановка с машиной переменного тока двойного питания // Известия ЮФУ. – 2012. – № 11. – С. 26–33.
4. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев Я.И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь. Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.

5. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев Я.И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.

6. Безруких П.П. Ветроэнергетика: Справочное и методическое пособие. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. – 320 с.

7. Санкевич С.А. Анализ функциональных схем электрической части ветроэлектрических установок // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 10 – 20.

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

С.Ю. Лобанова¹, В.Ю. Корнилов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹svetlanalobanova91@mail.ru, ²vkstbrus@mail.ru

Аннотация. Потери энергии в двигателе вызывают нагрев его отдельных частей. Допустимый нагрев двигателя определяется нагревостойкостью применяемых изоляционных материалов. Чем больше нагревостойкость, тем при той же мощности меньше размеры двигателя или при тех же размерах можно увеличить его мощность. Лучшему использованию двигателя способствует также более совершенная система его охлаждения.

Ключевые слова: нагрев двигателя, кратковременные перегрузки, температура, изоляция.

Преобразование двигателем электрической энергии в механическую неизбежно сопровождается ее потерями. Потери мощности происходят на активном сопротивлении обмоток статора и ротора, при трении, в сердечнике статора и т. д. Основная доля потерь обусловлена все же потерями в обмотках статора и ротора.

Энергия, теряемая двигателем, преобразуется в теплоту и идет на его нагревание. В момент включения двигателя в работу температура его равна температуре окружающей среды. Вся теплота, выделяющаяся в электродвигателе, идет на его нагрев. В дальнейшем, с повышением температуры, теплота от двигателя начинает поступать в окружающую среду, а затем наступает момент, когда вся выделившаяся теплота рассеивается в ней.

После отключения двигатель начинает охлаждаться. Однако время охлаждения больше времени нагрева, поскольку в этом случае вентилятор электродвигателя не работает.

Исследование процесса нагревания двигателя проводилось на стенде, имеющем в своем составе нагружающее устройство на базе двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и тиристорной системой

управления. В составе стенда также входит канал измерения температуры воздуха в объеме лобовых частей обмоток статора. Нагревание двигателя фиксировалось в ходе последовательного увеличения нагрузки на валу двигателя. Для каждого уровня нагрузки определялось значение температуры при достижении стабильного состояния тепловой схемы двигателя. По полученным экспериментальным данным проведена аппроксимация кривой повышения температуры статорных обмоток асинхронного двигателя.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют прогнозировать время достижения предельных температур при перегрузке двигателя, а также при работе асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого привода (на пониженных скоростях вращения).

Список литературы

1. Вешневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М.: Энергия, 2009. – 425 с.
2. Гольдберг К.Т. Нагрев и охлаждение электродвигателей. – М.: Высшая школа, 2012. – 209 с.
3. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк.; Логос; 2011. – 607 с.
4. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Нагрев, режимы работы, характеристики – основные сведения об асинхронных электродвигателях. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 224 с.

УДК 621.34

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ALTIVAR PROCESS ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Т.Н. Львова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: tn.lvova@yandex.ru

Аннотация. Приводится обзор преобразователей частоты (ПЧ) Altivar Process компании Schneider Electric с широкими возможностями мониторинга и коммуникаций для управления электродвигателями (асинхронными и синхронными) номинальной мощностью до 1,5 МВт в различных технологических процессах. Представлены основные особенности двух линеек преобразователей частоты: ATV600, ATV900.

Ключевые слова: преобразователь частоты, контроль и управление технологическими процессами, оптимизация энергопотребления, современные цифровые технологии, асинхронные и синхронные двигатели.

Компания Schneider Electric является одним из мировых лидеров в области разработки, производства и продажи электрооборудования и систем управления технологическими объектами. Компанией выпускается

серия ПЧ Altivar для широкого диапазона мощностей и напряжений с учетом их использования в различных сегментах рынка. В данной работе представлен обзор ПЧ для управления технологическими процессами.

Altivar Process – ПЧ для управления электродвигателями номинальной мощностью до 1,5 МВт. Обладает широкими возможностями мониторинга и коммуникаций, имеет специализированные функции для управления насосами, обеспечивая их безотказную и эффективную работу.

Основные особенности Altivar Process:

1. Мониторинг процессов: Altivar Process предоставляет доступ ко всем технологическим переменным, синхронизированным за счет интегрированных в преобразователь часов реального времени. Доступны специализированные функции, такие как stop&go, спящий режим и отображение рабочей точки насоса.

2. Управление эффективностью: оптимизация энергопотребления может быть достигнута за счет предоставляемых данных об энергопотреблении, оценки энергоэффективности и отслеживания отклонений.

3. Доступ к информации: с помощью виджетов можно легко создать любую приборную панель на экране монитора. Информация доступна в соответствии с правами доступа и безопасности.

4. Управление эффективностью: оптимизация энергопотребления может быть достигнута за счет предоставляемых данных об энергопотреблении, оценки энергоэффективности и отслеживания отклонений.

5. Управление активами: функции защиты в Altivar Process могут быть легко активированы для включения защит насосной станции. Давление на входе и выходе насоса, расход, температура – любой параметр, влияющий на производительность, может контролироваться. Altivar Process следит за насосом, обеспечивая безотказную работу на протяжении всего срока службы.

6. Применение современных цифровых технологий:

- динамическое отслеживание – встроенные часы позволяют отслеживать все события в реальном времени;
- динамическая поддержка – при помощи динамических QR-кодов теперь намного легче и быстрее получить необходимую информацию для решения возникших проблем.
- цифровой журнал событий – уникальная функция хранения информации о состоянии преобразователя;
- поддержка партнеров – обращение к специалистам позволяет достичь максимального коэффициента окупаемости инвестиций и оптимизировать эксплуатацию оборудования на протяжении всего срока службы.

7. Интеграция в решения Schneider Electric.

Altivar Process предлагает инновационную систему контроля и управления технологическими процессами, которая повышает эксплуатационные характеристики установки благодаря: встроенному Ethernet; быстрой замене (замена вышедшего из строя оборудования менее чем за 3 мин. Достаточно задать имя новому устройству и загрузить сохраненную конфигурацию с FDR-сервера); передаче данных: копирование, дублирование и обновление данной конфигурации с ПЛК, полной интеграции в данную автоматизированную систему управления и прозрачному доступу к данным.

Серия Altivar Process состоит из линеек ПЧ ATV600 и ATV900.

ATV600: механизмы для работы с жидкостями и газами, обладает всеми функциями управления соответствующими технологическими процессами. Линейка ориентирована на оптимизацию энергосбережения. Не работает в тормозных режимах. Нет рекуперации в генераторных режимах работы.

ATV900: обеспечивает максимальную эффективность технологического оборудования с различными моментами нагрузки (лифты, транспортные механизмы), обладает многочисленными прикладными алгоритмами управления и коммуникационными возможностями.

В зависимости от предъявляемых требований, предлагаются преобразователи частоты настенного или напольного исполнения, а также комплектные системы управления со степенями защиты IP 21, IP 23, IP 54 и IP 55.

Список литературы

1. URL: <https://www.nek2000.ru/preobrazovateli-chastoty/altivar-600.php>.
2. URL: <https://www.schneider-electric.com7>.
3. URL: http://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/privod/altivar/atv900/ATV900_cat_2017_ru.pdf.

УДК 621.311.04

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Д.Х. Маджитов

Научный руководитель – Н.К. Андреев

Актуальность. Насосная станция предназначена для создания напора и регулирования давления в трубопроводах жилищных зданий. Главная часть насосного агрегата – это электродвигатель. Около 70 % затрат электроэнергии приходится на долю электрических двигателей. Так как цены

на ресурсы повышаются с каждым годом, предприятиями жилищно-коммунального хозяйства встала задача энергосбережения. Данная работа является актуальной потому, что в ней разрабатывается энергоэффективная система управления насосной станции жилого здания.

В последние годы в десятки раз увеличивается потребление электроэнергии в жилищном комплексе. В условиях Таджикистана, где большой дефицит электрической энергии, в особенности в зимнее время, вопросы энергосбережения являются весьма актуальными задачами. Современная мировая реальность показывает, что с целью экономии электрической энергии и водопотребление целесообразно переходить от централизованной системы водоснабжения к автономному снабжению с использованием регулируемых электроприводов насосных агрегатов на уровне микрорайона или отдельных зданий.

Целью работы: разработка частотно-регулируемого асинхронного электропривода на базе к.з. асинхронного двигателя, с системой управления, обеспечивающего оптимальные с точки зрения энергосбережения и необходимого минимального уровня водопотребления.

В работе объектом исследования является насосная станция водоканала г. Душанбе. Здесь представляются методы управления насосной станцией, а также методы регулирования режимов работы насосной станции. Помимо этого, разрабатывается модель объекта, которая подробно описана во второй главе, осуществляется выбор частотного преобразователя и системы визуализации параметров объекта. На основе литературного анализа разработан алгоритм управления насосной станцией в виде блок-схемы. К оригинальности работы можно отнести разработанную модель системы регулирования, проведенные исследования модели в MatLab и статистические данные по функционированию системы.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ В ЖКХ

Т.Х. Мухаметгалеев¹, Р.А. Хабибуллина², Р.Р. Загидуллина³

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

E-mail: ¹banzay-13-13@yandex.ru, ²regaha9494@gmail.com,

³vagizova.regina@list.ru

Аннотация. Рассмотрены различные виды высоковольтных преобразователей частоты, представлены их классификация, достоинства и недостатки для регулирования мощного электропривода.

Ключевые слова: высоковольтный преобразователь, инвертор, двухтрансформаторная схема, регулирование частоты вращения, трансформатор, каскадная схема.

Одним из важных условий укрепления и развития электроэнергетики страны является наращивание производства, важной частью которого является жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ).

Применение высоковольтных преобразователей частоты (ВПЧ) в мощных приводах ЖКХ позволяет устранить гидроудары и динамические перегрузки в трубопроводах, экономить электроэнергию в насосных, компрессорных и других агрегатах, увеличить срок службы электродвигателя и приводных механизмов за счет его плавного пуска в три раза и более.

Рассмотрены следующие структуры ВПЧ: высоковольтный непосредственный преобразователь частоты (НПЧ) и высоковольтный двухзвенный преобразователь частоты.

НПЧ – это ВПЧ, где преобразование частоты и напряжения происходит без преобразования напряжения из переменного в постоянное. Данный тип в настоящее время не находит широкого применения из-за множества недостатков: несинусоидальное «пилообразное» выходное напряжение, частота которого находится в диапазоне от 0 до 25 Гц, малый диапазон регулирования – не более 1:10, использование компенсирующих приспособлений повышает цену, размеры, массу, понижает ПД всей системы. Достоинствами НПЧ являются: высокий КПД – 98,5 % и большая перегрузочная способность [1].

К двухзвенным высоковольтным ПЧ можно отнести следующие системы: двухтрансформаторная схема с автономным инвертором напряжения (АИН), ВПЧ на основе автономного инвертора тока (АИТ), каскадная схема с фазосдвигающим трансформатором.

ВПЧ, реализованные по двухтрансформаторной схеме, строятся на двойной трансформации напряжения при помощи понижающего и повышающего высоковольтных трансформаторов. Основными недостатками двухтрансформаторных преобразователей являются плохие массогабаритные показатели, низкие КПД и надежность, а также малый рабочий диапазон регулирования (1:2).

Подход большинства производителей к топологии ВПЧ с АИТ можно свести к следующим принципиальным решениям:

- 1) выполнение АИТ по мостовой схеме на однооперационных (незапираемых) SCR-тиристорах, что усложняет силовую схему ВПЧ;
- 2) выполнение АИТ на полностью управляемых симметричных тиристорах (GTO, SGCT).

К недостаткам данной схемы можно отнести коммутационные пики выходного напряжения, несинусоидальный выходной ток, что приводит к появлению высших гармоник в выходном токе и напряжении. Достоинством данной схемы является возможность рекуперации энергии в сеть, близкое к синусоидальному выходное напряжение; безаварийность режима КЗ по выходу.

Каскадная схема ВПЧ с фазосдвигающим трансформатором содержит входной фазосдвигающий трансформатор с количеством n вторичных обмоток и ячейки «выпрямитель-АИН» в количестве n штук. Ячейки состоят из трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, LC-фильтра и АИН на четырех IGBT-транзисторах с обратными диодами. Секции АИН подключены последовательно, а количество силовых модулей для одной фазы, питающей обмотку статора, варьируется. Фазовый сдвиг между напряжениями соседних обмоток фазосдвигающего трансформатора зависит от количества фаз в схеме.

К достоинствам данной схемы можно отнести следующее: синусоидальная форма напряжения позволяет подключать любые электродвигатели без применения специальных фильтров, генерируемое напряжение в питающую сеть содержит малое количество гармоник, КПД – 98 %, диапазон регулирования частоты 1:50.

К недостаткам данной схемы можно отнести сложность конструкции, высокие массогабаритные показатели, большую стоимость.

Таким образом, наиболее перспективным современным ВПЧ является преобразователь частоты, реализованный на каскадной схеме АИН с фазосдвигающим трансформатором, так как он включает в себя лучшее отношение цены и качества, имеет почти синусоидальное выходное напряжение, малое количество высших гармоник, высокие КПД и коэффициент мощности.

Список литературы

1. Преобразователи частоты ТМ-drive на напряжение 6–10 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://market.elec.ru>.
2. ЧРЭП насосных и вентиляторных установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua>.
3. Лазарев Г.Б. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных схем / Г.Б. Лазарев // Новости электротехники, 2007. – № 2–3.

УДК 621.313

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ VLT-102

М.А. Мясников¹, Т.Х. Мухаметгалеев²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹wild_wolf_540@mail.ru, ²banzay-13-13@yandex.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию особенностей реализации систем вентиляции на базе преобразователя частоты VLT-102. Рассмотрены основные причины возникновения аварийных режимов при использовании преобразователей частоты в системах вентиляции, а также представлены технические решения, устраняющие недостатки и обеспечивающие безотказную работу вентиляционной системы.

Ключевые слова: вентиляционная установка, электропривод, частотное управление, преобразователь частоты, энергосбережение.

Вентиляционные установки являются одним из самых распространенных типов промышленных установок. В системах общепромышленных объектов они играют важную роль. К электроприводу вентиляционной установки выдвигаются требования по вибрации, надежности, шуму, энергосбережению, обеспечению заданной производительности и возможности работы в условиях пониженного качества электроэнергии.

Помимо выбора электропривода вентиляционной установки немало важной составляющей является система управления этим электроприводом. В настоящее время для регулирования скорости большинства современных вентиляторов и дымососов используются частотные преобразователи. Они позволяют плавно менять производительность вентиляторных установок в широких пределах, обеспечивают плавный пуск и останов электродвигателя, а также позволяют экономить электроэнергию. [1]

Целью данной работы является рассмотрение основных особенностей реализации систем вентиляции на базе ПЧ. Исследование аварийных режимов работы преобразователей частоты в системах вентиляции. Разработка технических решений по предотвращению аварийных режимов и обеспечение безотказной работы системы.

Несмотря на кажущуюся простоту, электромеханическая система вентилятора является достаточно сложной системой, имеющей свои особенности эксплуатации. При неправильной настройке системы управления это может приводить к отказу электроники преобразователя частоты, в частности на этапах останова, замедления. Чаще всего, при аварийном останове ПЧ на дисплее отображается ошибка «OU» – перенапряжение по шине постоянного тока. Перенапряжение на шине постоянного тока преобразователя может появляться в двух случаях:

- 1) перенапряжение в питающей сети;
- 2) генераторный режим электродвигателя (режим рекуперации).

Вредным фактором такого режима является то, что при повышенном напряжении в звене постоянного тока прикладывается повышенное напряжение к ключам инвертора. Это приводит к повышенному тепловыделению в них, их частичному разрушению и последующему отказу.

Другим видом неисправности, возникающей при эксплуатации вентиляторов, является перегрузка IGBT-ключей при пуске. Эта неисправность вызвана чаще всего динамическими колебаниями скорости, особенно при пусках с малым временем разгона и больших маховых массах на валу электродвигателя [2].

Исходя из вышеуказанных особенностей эксплуатации электродвигателей вентиляторов, необходимо рассмотрение способов подключения и конфигурирования преобразователей частоты для систем вентиляции, при которых будет обеспечиваться безотказный режим работы, а именно:

- 1) подключение управляющих сигналов;
- 2) использование элементов защиты звена постоянного тока;
- 3) выбор рационального времени разгона/замедления преобразователя.

Использование данных рекомендаций поможет уменьшить вероятность отказа преобразователя частоты и оптимизировать работу вентиляционной системы в целом.

Список литературы

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод // Академия. – М., 2006. – С. 57–59.
2. Касаткин А.С. Электротехника // Академия. – М., 2006. – С. 46–49.

УДК 621.311.04

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ОБРЕЗИНИВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО КОРДА

В.Ю. Николаев¹, Р.Н. Ганиев²

НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск
E-mail: ¹maestrovad@icloud.com, ²N7007@mail.com

Аннотация. В статье рассматривается автоматизированная система управления поточной линией текстильного корда. Данная система применяется в производстве грузовых шин.

Ключевые слова: Автоматизированный электропривод, кордная линия, каландр, асинхронный электродвигатель, преобразователь частоты, система векторного управления, структурная схема, передаточные функции, механические и электромеханические характеристики, переходные процессы.

Назначение кордной линии заключается в обработке прорезиненного корда, идущего на изготовление автопокрышек шин, в пропитке кордной ткани латексом и двухсторонней обкладке её резиной на каландрах. В качестве кордной ткани используют хлопчатобумажные, вязкие и полиамидные ткани типа нейлона.

На примере одного из базовых устройств кордной линии – каландра приводится анализ ожидаемых статических и динамических характеристик его электропривода по системе ПЧ-АД с векторным управлением координат.

Целью проведения экспериментальных исследований было: разработать автоматизированную систему управления кордной линии с целью повысить производительность кордной линии за счёт увеличения её рабочей скорости при сохранении основных технологических характеристик корда. Электропривод основных устройств кордной линии частично реализован на основе систем тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока (ТП-Д), частично на основе системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД). В работе рассматриваются различные варианты построения подобных систем, даётся их технико-экономическое обоснование.

В состав кордной линии входят следующие основные технологические узлы: узел раскатки, компенсатор раскатки, нагревающие барабаны, каландр 1, каландр 2, охлаждающие барабаны, компенсатор закатки и узел закатки, привод механизмов действующей кордной линии на основе электроприводов

В соответствии с реконструкцией электрооборудования кордной линии, обусловленной необходимостью замены устаревшего привода и повышения её производительности, появилась необходимость технико-экономического обоснования замены привода постоянного тока с аналоговой системой управления на привод переменного тока с цифровой системой управления.

Питание инверторов асинхронного частотно-регулируемого электропривода от общей линии постоянного тока

Электропривод кордной линии включает в себя (рис. 1) трехобмоточный силовой трансформатор, преобразовательную часть в составе блоков выпрямления/рекуперации, состоящих из двух встречно-параллельных 6-ти импульсных тиристорных мостов и обеспечивающих передачу энергии в обоих направлениях (мост рекуперации подключается через автотранс-

форматор) и блоков инверторов для питания асинхронных электродвигателей переменного тока, цифровую систему управления и регулирования, асинхронные электродвигатели низкого напряжения, пульт управления и видеотерминальную станцию.

В состав электрической схемы питания электропривода входят:

- сетевые предохранители, обеспечивающие защиту кабелей и полупроводниковых элементов преобразователя;
- сетевой коммутационный дроссель для уменьшения гармоник потребляемого тока блоков выпрямления/рекуперации и коммутационных просадок напряжения в блоке выпрямления/рекуперации;
- автотрансформатор для питания рекуперативного моста подключаемого к сети (для обеспечения режима рекуперации необходимо, чтобы блок выпрямления/рекуперации имел на выходе обратного моста напряжение на 20 % больше, чем питающее).

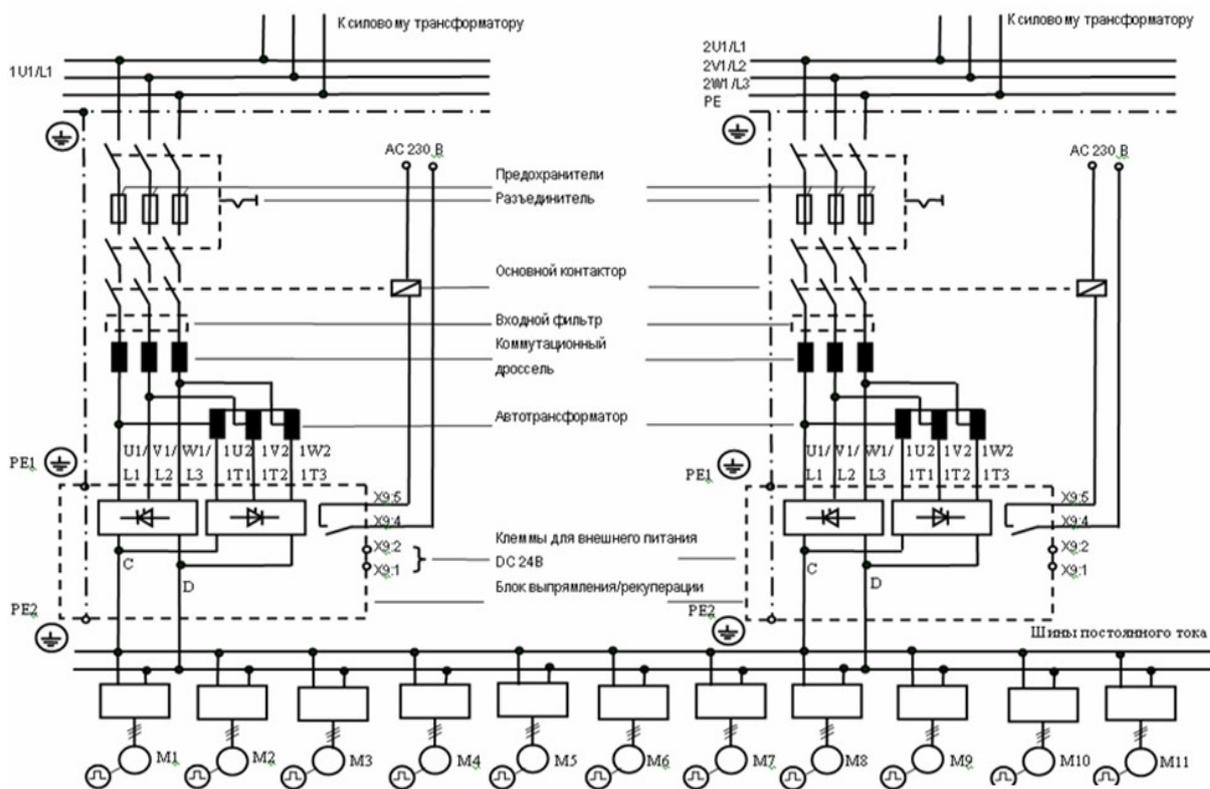


Рис. 1. Функциональная схема силовой части многодвигательного низковольтного электропривода кордной линии питания асинхронного частотно-регулируемого электропривода от индивидуальных преобразователей частоты

Для индивидуального питания двигателей приводов каждого из устройств кордной линии применяется единый трёхобмоточный силовой трансформатор, выходное напряжение вторичной обмотки которого подключается на вход преобразователей частоты.

На рис. 2 представлена общая схема подключения преобразователей частоты. В состав схемы входят также:

- сетевые предохранители для защиты по предельно допустимому току кабелей и полупроводниковых элементов;
- сетевой коммутационный дроссель для уменьшения гармоник потребляемого тока блоками выпрямления/рекуперации и коммутационных просадок напряжения питающей сети;
- блоки выпрямления/рекуперации, состоящие из диодного моста и конденсатора обеспечивающего фильтрацию входного напряжения;
- главный контактор для включения и отключения блока от питающей сети на входе установлен.

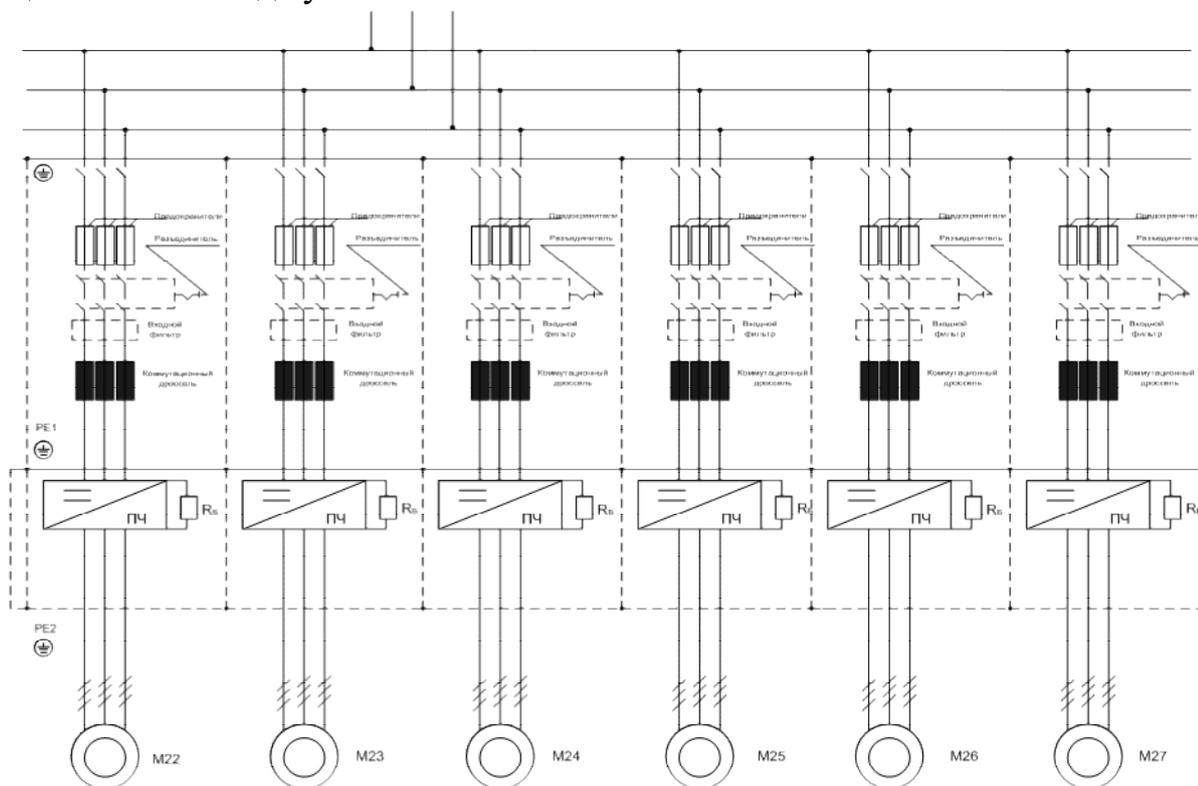


Рис. 2. Схема силовой части многодвигательного электропривода кордной линии

Экономическое обоснование выбора варианта силовой части электропривода

Экономическое обоснование заключается в сравнении стоимости компонентов электроприводов линии корда при питании инверторов от общей сети постоянного тока с компонентами электроприводов линии корда при питании от индивидуальных преобразователей частоты.

Оценивая стоимость компонентов силовой части электроприводов линии корда были сделаны следующие допущения: монтаж элементов электропривода, прокладка силовых и информационных кабелей связи, наладка электропривода в стоимость поставки не входила. Неучёт этого факта связан с тем что одни и те же затраты будут практически одинаковы для обоих вариантов.

Сравнение стоимости компонентов силовой части электропривода для кордной линии показало, что вариант питания инверторов от общей сети постоянного тока по цене лучше варианта питания асинхронных двигателей от индивидуальных преобразователей частоты.

Вариант №1 = 730 300 Евро < Вариант №2 = 857 800 Евро

$\Sigma C2 - \Sigma C1 = 127\ 500$ Евро

При разработке привода каландра обращалось внимание на возможность применения как скалярной, так и векторной систем управления, ниже и рассматривались данные структуры управления.

В ходе данной работы было сделано следующее:

1. Дан анализ технологических особенностей и требований к электроприводу линии корда. Определена мощность и тип электропривода линии корда.

2. Экономическое обоснование выбора варианта силовой части электропривода.

3. Выбрана элементы, определены статические и динамические характеристики силовой части электропривода линии корда на примере двигателя каландра *1*.

4. Определены параметры векторной системы управления электроприводом.

5. Даны экспериментальные исследования статических и динамических характеристик в разомкнутой скалярной системе управления, в замкнутой скалярной системе управления с обратной связью по скорости двигателя, в замкнутой векторной системе управления с обратной связью по скорости двигателя.

Список литературы

1. Siemens Simovert Masterdrives VC Compendium, AG 2010.
2. Иванов Г.М., Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод химической промышленности. – М.: Изд-во «Машиностроение». – 300 с.

УДК 681.51

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ СКАЛЯРНОГО И ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИНЕРЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ

Е.Е. Осмоловский, Т.Х. Мухаметгалеев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ключевые слова: электропривод, инерционная нагрузка, скалярное управление, векторное управление, асинхронный двигатель.

Современный электропривод это конструктивное единство электро-механического преобразователя энергии, силового преобразователя и устройства управления. Они обеспечивают преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки.

Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. В настоящее время уже более 60 % всей вырабатываемой в мире электрической энергии потребляется электрическими двигателями. Следовательно, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. Разработка высокопроизводительных, компактных и энергосберегающих систем привода является приоритетным направлением развития современной техники.

Основным способом регулирования скорости АД является регулирование изменением частоты напряжения на статоре. Но параметры механической характеристики определяются не только частотой, но и значением напряжения, частота и напряжение выступают как два управляющих воздействия, которые принципиально могут регулироваться независимо друг от друга. Обычно за независимое воздействие принимается частота, а значение напряжения при данной частоте определяет вид механической характеристики, значения пускового и критического моментов. Такой способ регулирования скорости называется частотным (система скалярного управления), а характер согласования напряжения и частоты – законом частотного регулирования.

Типичным представителем законов частотного регулирования является закон $U/f = \text{const}$, когда соотношение между напряжением и частотой статора поддерживается постоянным. Удобство этого закона заключается в том, что электропривод может работать без отрицательной обратной связи по скорости и обладает естественной жесткостью механических характеристик в ограниченном диапазоне регулирования скорости. Этот закон регулирования можно подстроить под различную нагрузку путем выбора соответствующего соотношения между напряжением и частотой статора, необходимого для плавного нарастания скорости асинхронного короткозамкнутого двигателя (АКЗ) без колебаний момента и тока [1].

Данный принцип является наиболее простым способом реализации частотного управления и, благодаря относительно низкой стоимости, широко используется для привода механизмов, не предъявляющих высоких

требований к качеству регулирования скорости. В первую очередь это относится к электроприводам насосов, вентиляторов, компрессоров. Данный класс механизмов обладает широкими потенциальными возможностями энерго- и ресурсосбережения, которые успешно реализуются при внедрении указанного типа систем.

Ко второму типу систем управления относится система векторного управления, обеспечивающая характеристики асинхронного электропривода, близкие к характеристикам привода постоянного тока. Эти свойства системы достигаются за счет разделения каналов регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя, не достижимого при использовании скалярного управления. При построении указанных систем используется векторное представление физических величин.

Данные системы управления имеют сравнительно более высокую стоимость и применяются в механизмах с повышенными требованиями к качеству регулирования скорости, например, приводы в станках, лифтах, кранах. Следует также отметить, что существует четкая тенденция к отказу от датчиков скорости и разработке алгоритмов оценки механических величин, что ведет к снижению стоимости и повышению надежности системы [2].

В данной работе будут рассмотрены следующие вопросы:

1. Построение функциональной и структурной схем скалярного и векторного управления электропривода.
2. Определение статических и динамических параметров элементов силовой части и системы управления электроприводом.
3. Построение ЛАЧХ разомкнутых контуров регулирования тока и скорости двигателя для заданного режима работы преобразователя частоты.
4. Построить ЛАЧХ замкнутых контуров регулирования тока и скорости двигателя для заданного режима работы преобразователя частоты.
5. Определить темп изменения выходного сигнала задатчика интенсивности при пуске и торможении, при котором ток статора не будет превышать заданное значение.
6. Построить зависимости тока и скорости двигателя от времени для трех видов воздействий:
 - а) скачкообразное задание номинальной скорости;
 - б) задание номинальной скорости по задатчику интенсивности;
 - в) наброс номинальной нагрузки.

7. Построить зависимости тока и скорости двигателя от времени при тех же видах воздействий, если в процессе работы ранее настроенного электропривода произошло:

- а) увеличение момента инерции в два раза;
- б) увеличение коэффициента обратной скорости в два раза;
- в) увеличение коэффициента усиление регулятора в два раза

Список литературы

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод // Академия. – М., 2006. – С. 57–59.
2. Касаткин А.С. Электротехника // Академия. – М., 2006. – С. 46–49.

УДК 621.313.282

ЯВЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИИ МОЩНОСТИ В ЛИНЕЙНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Т.И. Петров¹, А.Р. Сафин²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹tobac15@mail.ru, ²sarkazan@bk.ru

Аннотация. В линейных двигателях используется прямое усилие подачи без датчика движения, тем самым избегая электромеханических ограничений приводных систем. Они чаще всего используются, когда при линейном движении существуют комбинация высоких скоростей с высокими ускорениями. Однако существенный недостаток синхронных линейных двигателей это пульсация мощности. Сила пульсации снижает точность позиционирования и, следовательно, качество изготовления систем, оснащенных синхронными линейными двигателями, если не предпринимаются меры для уменьшения пульсаций силы.

Ключевые слова: линейный двигатель, пульсация мощности.

Причины пульсации обусловлены конструкцией двигателей, а также производственными допусками двигателей и управляющей электроники. В случае синхронных линейных двигателей фазные токи, например, должны коммутироваться в зависимости от относительного положения первичной части к вторичной части. Только в том случае, если питание обмоток двигателя точно соответствует двигателю, по положению создается однородный профиль силы.

В случае синхронных двигателей с постоянным магнитом необходимо различать два типа периодических флуктуаций силы: магнитное запирающее усилие и пульсация электромагнитной силы. Оба колебания силы являются периодическими функциями относительного положения между первичной и вторичной частями.

Запирающая сила представляет собой магнитную возмущающую силу, создаваемую притяжением между постоянными магнитами вторичной части и железом первичной части. Сила зависит от относительного положения первичной части к магнитам вторичной части; она не зависит от тока двигателя. В безмоторных двигателях запирающим усилием можно пренебречь. В [1] представлен метод, с помощью которого можно идентифицировать и компенсировать силу запираения ферромагнитных синхронных линейных двигателей.

Сила пульсации является электромагнитным эффектом, который вызывает периодическое изменение силовых постоянных K_M . Сила пульсации возникает только тогда, когда ток двигателя не равен нулю. Абсолютное значение зависит от силы подачи двигателя и относительного положения между первичной и вторичной частями.

Сила в каждой отдельной фазе создается взаимодействием постоянного магнитного поля вторичной части и электромагнитного поля фазы первичной части. Сила, генерируемая фазой, пропорциональна магнитному полю и току в соответствующей фазе. Контр-ЭДС (U_{EMK}), индуцированный в каждой фазе, в свою очередь, пропорциональна магнитному полю и скорости двигателя x . Таким образом, суммарная сила трехфазного двигателя определяется суммой силы, генерируемой каждой отдельной фазой:

$$\dot{x} \cdot F_{el} = U_{EMK_A} \cdot i_A + U_{EMK_B} \cdot i_B + U_{EMK_C} \cdot i_C. \quad (1)$$

Индуцированные напряжения U_{EMK_p} , $p \in \{A, B, C\}$ являются периодическими функциями положения и токи i_A , i_B , i_C в отдельных фазах. В левой части уравнения переданная механическая мощность, а с правой стороны – поглощенная электрическая мощность во время работы двигателя, потери на обмотку не учитываются.

Нормализованная форма сигнала напряжения в позиции x :

$$K_{M,p}(x) = \frac{U_{EMK_p}(x)}{\dot{x}} \quad (2)$$

также может рассматриваться как «постоянная силы» отдельных фаз.

Она упоминается ниже как функция силы. У пульсации мощности могут быть разные причины. Одной из причин пульсации мощности является неадаптированная коммутация фазных токов. Только если форма кривой фазных токов точно соответствует силовой функции $K_{M,p}(x)$, результирующая сила не зависит от положения и пульсации силы не возникает.

В случае синусоидальной коммутации результирующая сила не зависит от положения только в том случае, если встречная ЭДС двигателя также точно синусоидальна. В случае гармонической волны встречного ЭДС порядка k гармоники порядков $k - 1$ и $k + 1$ в силе, которая образуется этой фазой, получаются в случае синусоидального токового питания фаз. Однако в случае точно симметричного трехфазного двигателя в полной силе генерируются только гармонические волны порядка $3k$, $k \in \mathbb{N}$, так как все остальные гармонические волны компенсируются суперпозицией сил. Амплитуда гармоник линейно зависит от тока на основе уравнения (1). Для достижения в значительной степени однородного профиля силы в случае синусоидальной коммутации, расчетные меры используются, чтобы сделать контр-ЭДС двигателя максимально синусоидальным. Конструктивные меры для уменьшения пульсаций мощности часто недостаточны и обычно приводят к снижению силы подачи и эффективности. Кроме того, проектные меры могут увеличить издержки производства двигателей и снизить достижимую силу подачи. По этой причине синусоидальная коммутация фазовых токов, доступных на рынке, имеет значительную конструктивно вызванную пульсацию силы [2].

В дополнение к причинам, связанным с конструкцией, допуски могут также создавать пульсации силы во время изготовления двигателя. Если двигатель имеет амплитудную или фазовую ошибку в обратной ЭДС, пульсация мощности генерируется с половиной периода коммутации (гармоника второго порядка), которая линейно зависит от генерируемой силы. Из-за этой асимметрии двигателя верхние валы противоэлектронной волны могут затем генерировать дополнительные гармоники в пульсации мощности, которые будут компенсированы симметричным двигателем.

В дополнение к причинам пульсации мощности двигателя при смещении, также амплитудные и фазовые ошибки могут возникать при включении сервоусилителем. Смещения приводят к смещению нуля отдельных фазных токов, которые могут возникать в аналоговой электронике или также из-за аналогового измерения тока. Перемещение нулевой точки накладывает постоянный ток на фазные токи, что приводит к пульсации силы, которая не зависит от силы подачи. Из уравнения (1) видно, что периодическая сила, создаваемая постоянным током, не зависит от нагрузки, а также от формы и периода встречной ЭДС.

Причинами амплитудных ошибок могут быть разные коэффициенты усиления при измерении тока и измерении тока. В этих случаях фазные токи снабжаются различными амплитудами. Из уравнения (1) можно определить,

что пульсация силы, вызванная ошибками амплитуды, линейно зависит от силы питания и имеет половины периода коммутации. Если двигатель с фазосдвигающими токами управляется на основе ошибочного обнаружения относительного положения между первичной и вторичной частями, здесь также возникает пульсация мощности, которая имеет половину периода коммутации.

Коммутация фазных токов синхронных линейных двигателей

Коммутация фазных токов синхронных линейных двигателей может осуществляться двумя способами: с помощью специальной сенсорной системы или с помощью программного обеспечения.

Электронная коммутация с использованием специальных датчиков

В начале развития линейных двигателей фазовые токи были исключительно коммутированы электронным способом с помощью сенсорной технологии. Во-первых, цифровые датчики Холла использовались для переключения фазных токов в зависимости от магнитного поля. Этот режим коммутации также упоминается как блочная коммутация. Для достижения однородного профиля силы во время блочной коммутации контр-ЭДС фаз должна быть трапецеидальной. Так как это не совсем возможно, всегда следует ожидать увеличения пульсаций сил с блочной коммутацией. Еще одной проблемой блочной коммутации является переключение фазных токов и, следовательно, бесконечно большая скорость нарастания тока фазного тока. Постоянная времени токовых цепей управления, подключенных к напряжению конечной промежуточной цепи, ограничивает скорость нарастания тока, что приводит к дополнительной пульсации мощности, которая также зависит от скорости двигателя.

Благодаря дальнейшей разработке электроники и датчиков, аналоговые p датчики Холла могут использоваться для коммутации. Используя эти датчики, фазные токи могут быть коммутированы пропорционально постоянному магнитному полю. Чтобы получить однородный профиль силы в этом режиме коммутации, как форма магнитного поля, так и контр-ЭДС должны иметь синусоидальную форму. Эта коммутация также называется синусоидальной коммутацией. По конструктивным мерам предпринимается попытка спроектировать противозлектродвигатель двигателя синусоидальным образом. Однако плотность мощности двигателей с постоянным магнитом с синусоидальной противозлектронной реакцией обычно ниже, чем плотность двигателей с трапецеидальной противозлектронной эмиссией, поскольку расположение магнитов и обмотки должно быть адаптировано для достижения синусоидальной формы.

Электродно-коммутируемые двигатели должны быть спроектированы и изготовлены в соответствии с типом коммутации. Необходимо настроить как систему намотки, так и расположение магнитов. При изготовлении электродвигателей, сконструированных таким образом, возникают дополнительные затраты при производстве требуемого магнитного поля (например, с помощью специально сформированных постоянных магнитов).

Коммутация с помощью программного обеспечения

Во время коммутации с помощью программного обеспечения возбуждение фазных токов контролируется из измеренного положения и функции коммутации. Фазные токи определяются алгоритмом, который реализован в программном обеспечении, поэтому используется программная коммутация.

Программная коммутация позволяет свободно программировать текущую форму. Это можно адаптировать к двигателю, чтобы обеспечить оптимальную генерацию силы. Однако имеющиеся в продаже цифровые сервоусилители обычно не используют эту возможность, а скорее коммутируют токи с чистой синусоидальной формой. Чтобы избежать пульсаций мощности, двигатели, используемые с этими сервоусилителями, должны иметь синусоидальный контр-ЭДС. Основным преимуществом чисто синусоидальной коммутации программного обеспечения по сравнению с электронной коммутацией является, помимо экономии затрат на сенсорную систему, текущую форму, не зависящую от неисправностей в электронике и сенсорной технологии.

Описанный здесь метод использует программную коммутацию для оптимальной адаптации функции коммутации к любой конструкции двигателя. Конструкция двигателей больше не ограничивается синусоидальной встречной ЭДС. В результате можно снизить издержки производства и увеличить мощность двигателей с более высокой плотностью мощности.

Компенсация пульсаций мощности

Цель метода компенсации пульсаций мощности, представленная здесь, заключается в оптимизации коммутации фазных токов, чтобы уменьшить потери мощности и потери обмотки. Предпосылкой для оптимизации коммутации является знание силовой функции отдельных фаз. В дальнейшем анализ пульсаций силы линейного двигателя выполняется сначала с синусоидальным током. Затем приводится идентификация силовых функций, на которых основана оптимизация коммутации.

Описание тестовой установки

Экспериментальная установка зависит от требований исследований. Это не ограничивает применимость процедуры. Расчет коммутации также может быть реализован в цифровом сервоконтроллере. Кроме того, этот способ не ограничивается линейными двигателями безрукавки. Он может, в принципе, применяться ко всем трехфазным синхронным двигателям с синхронным возбуждением с постоянным магнитом, которые питаются при помощи трехфазной мостовой схемы.

Основной причиной пульсации мощности является ошибочная адаптация коммутации фазных токов к противоэлектронной частоте двигателя. В случае источника синусоидального тока, который обычно используется сегодня, пульсация мощности может быть уменьшена с помощью конструктивных средств тем, что противоэлектронная эмиссия формируется точно так же, как синусоидальная, путем установки обмотки и магнита. Недостатком конструктивных мер является уменьшение силы подачи и одновременное увеличение издержек производства двигателя.

Дальнейшими причинами пульсации мощности являются асимметрия двигателя, а также смещения и асимметрии регулирования тока и управления коммутации сервоусилителя. Непревзойденную пульсацию силы следует ожидать для имеющихся в настоящее время синхронных линейных двигателей.

Метод, представленный в статье, состоит из трех этапов, в которых различные фракции пульсаций мощности уменьшаются на каждом этапе. На первом этапе беспорядочная пульсация нагрузки непосредственно идентифицируется из управляемой переменной и уменьшается с помощью компенсации смещения. На втором этапе коммутация оптимизируется на основе идентификации силовой функции фаз двигателя. В этом случае потери на обмотку минимизируются в качестве критерия оптимизации. На третьем этапе определенные функции коммутации точно оптимизированы. Точно оптимизированные функции коммутации снова уменьшают пульсацию мощности, особенно в высокочастотных компонентах. Определенные функции коммутации линейно изменяются с управляемой переменной и, таким образом, действуют для каждой силы уставки и любых скоростей. Путем идентификации функций мощности на сервосистеме, состоящей из двигателя и усилителя, функция коммутации адаптирована к индивидуальной комбинации усилителей и усилителей. Таким образом, учитываются влияния двигателя и сервоусилителя на генерацию силы.

Функции коммутации могут быть адаптированы к любой конструкции двигателя с использованием метода, описанного выше. Конструкция двигателей больше не ограничивается синусоидальной встречной ЭДС. Из-за свободы в дизайне двигателя могут быть снижены издержки производства, и могут быть созданы двигатели с более высокой плотностью мощности.

Эффективность метода была продемонстрирована на различных синхронных линейных двигателях. Однако этот метод не ограничивается линейными двигателями, его можно, в принципе, применять ко всем трехфазным синхронным двигателям, которые подаются через трехфазный мостовой контур. Функция позиционирования и коммутации была реализована в управлении станком с помощью промышленного ПК. Для последовательного использования реализация возможна непосредственно в цифровом сервоконтроллере.

Список литературы

1. Tönshoff, H. K.; Brahms, U.: Verbesserte Regelung für Lineardirektantriebe in Werkzeugmaschinen. *Antriebstechnik* 37 (1998), Nr. 8. – S. 47–49.
2. Röhrig, C.; Mickel, J.: Kompensation der Kraftwelligkeit von lagegeregelten synchronen Linearmotoren. *antriebstechnik* 41 (2001), Nr. 5. – S. 51–55.

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА УРОВНЯ ВОДЫ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ БАССЕЙНА

Р.А. Рахимова, О.В. Погодицкий

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Аннотация. Измерители уровня воды необходимы для качественной водоподготовки бассейна. Повышение точности определения уровня воды зависит от комплекса измерительных датчиков, обеспечивающих соответствующий уровень переливной емкости. От этого зависит, в том числе экономия воды и стоимость жилищно-коммунальные услуг.

Ключевые слова: водоподготовка бассейна, точность, моделирование, аппроксимация.

В докладе рассматривается обобщенная структурная схема водоподготовки бассейна, обеспечивающая высокую степень очистки за счет применения автоматической системы пропорционального клапана в канале поступления воды в переливную емкость. Для этого используется двухконтурная система управления пропорциональным клапаном обеспечивающий высокий показатель точности, что позволяет получить в системе

водоподготовки более экономичные результаты. Для выработки рекомендаций по использованию системы пропорционального клапана был произведен расчет и моделирование неизменяемой части с выбором и расчетом исполнительного микродвигателя пропорционального клапана по эквивалентному рабочему циклу.

На основании проведенного анализа выполнен синтез аналоговых фильтров внутреннего и основного измерительного контуров системы пропорционального клапана. Детальное моделирование спроектированной системы показало правильность проведенных расчетов. Показатели качества переходного процесса и ЛЧХ полученные по результатам моделирования соответствует требуемым показателям сформулированным в техническом задании на проект. В дальнейшем предполагается провести дискретную аппроксимацию аналоговых фильтров и получить цифровой алгоритм работы в виде разностных уравнений.

УДК 621.313

ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСА ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ

А.Г. Субаев, Л.А. Рябишина, И.И. Абызбаев

ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа

Аннотация. В статье рассмотрено внедрение частотно-регулируемого электропривода ЭЦН, которое может обеспечить существенные экономические и технические преимущества насосов, используемых для поддержания пластового давления, внутри промысловой перекачки нефти, погружных центробежных насосов, технологических установок добычи нефти и увеличение межремонтного периода.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, погружной электронасос, забойное давление.

Внедрение частотно-регулируемого электропривода обуславливается, такими факторами, как постоянное повышение стоимости электроэнергии и увеличение эксплуатационных затрат, приходящихся на оплату электроэнергии. Высокая стоимость преобразователей частоты не является существенным препятствием для внедрения высокоэффективных энергосберегающих технологий, так как непрерывное повышение стоимости электроэнергии обеспечивает достаточно малый срок окупаемости модернизированного частотно-регулируемого электропривода [1].

Частотно-регулируемый электропривод ЭЦН позволяет в автоматическом режиме управлять технологическим процессом добычи нефти с помощью изменения скорости вращения приводного двигателя. При неизменном числе оборотов двигатель потребляет из сети повышенную мощность

независимо от требуемой производительности. Регулирование частоты питающего напряжения позволяет сохранить потери электроэнергии за счет изменения числа оборотов двигателя в зависимости от требуемой производительности [2].

Для определения режима работы скважины необходима индикаторная диаграмма скважины. После выбора рабочей точки по соответствующей величине забойного давления, которое находят по измеренному давлению на приеме насоса, определяют режим работы скважины. Давление задают с помощью частотно-регулируемого привода. При этом при установке и поддержании забойного давления обеспечивают монотонный переходный процесс, дополнительно осуществляют непрерывное ограничение вибраций корпуса приводного электродвигателя. Также частотное регулирование позволяет поддерживать температуру внутри корпуса приводного электродвигателя с учетом изменения температуры скважинной жидкости на приеме насоса [3].

В результате эффективным техническим результатом является повышение эффективности эксплуатации скважины, увеличение добычи нефти, коэффициента нефтеотдачи и межремонтного периода, снижение производственных издержек за счет использования технологии автоматической настройки и поддержания оптимального значения забойного давления. Комплектная регулируемая насосная установка включает в себя: погружной приводной электродвигатель, блок погружной телеметрии, насос, станцию управления (с силовым трансформатором), частотный преобразователь.

Способ эксплуатации скважины погружным электронасосом с частотно-регулируемым приводом реализуют следующим образом. Жидкость из пласта притекает через перфорационные отверстия в эксплуатационную колонну скважины. Погружной приводной электродвигатель, снабженный датчиком температуры, внутри его корпуса вращает ротор насоса. Жидкость по насосно-компрессорной трубе подается на поверхность. Электропитание приводного электродвигателя осуществляют по силовому токоподводящему кабелю. С помощью блока погружной телеметрии, состыкованного с приводным электродвигателем, измеряют датчиками и давление $P_{\text{ПР}}$ и температуру $T_{\text{ПР}}$ на приеме насоса. Сигналы от блока погружной телеметрии, подаются по силовому токоподводящему кабелю на поверхность. Текущий дебит скважины измеряют с помощью расходомера скважинной жидкости. Управление электропитанием с обеспечением необходимых защит от нештатных режимов по току, напряжению, температуре $T_{\text{д}}$ внутри корпуса осуществляет станция управления.

Вначале с учетом данных по эксплуатации скважины и априорных данных погружного электронасоса расчетным методом (методом моделирования) определяют динамические характеристики скважины [4].

Упрощенные расчетные зависимости для определения динамических характеристик системы «пласт – скважина – насосная установка» могут быть представлены в следующем виде:

$$Q_C = Q_{\Pi} - Q_{\text{Ж}}, \quad (1)$$

где Q_C – суммарный мгновенный расход жидкости в скважине; Q_{Π} – приток жидкости из пласта; $Q_{\text{Ж}}$ – отбор жидкости насосной установкой (дебит скважины).

Приток жидкости из пласта:

$$Q_{\Pi} = k_{\text{ПР}} \cdot \Delta P, \quad (2)$$

где $k_{\text{ПР}}$ – коэффициент продуктивности пласта (определяют из индикаторной диаграммы); ΔP – депрессия на пласт.

$$\Delta P = P_{\Pi} - P_3, \quad (3)$$

где P_{Π} – пластовое давление; P_3 – забойное давление.

$$P_3 = \rho g H_3, \quad (4)$$

где ρ – плотность жидкости.

Динамический уровень над приемом насоса:

$$H_{\Pi} = H_3 - (H_C - H_{\text{Н}}), \quad (5)$$

где $H_{\text{Н}}$ – глубина спуска погружного насоса; H_C – глубина скважины.

Давление на приеме насоса:

$$P_{\Pi} = \rho g H_{\Pi}. \quad (6)$$

По полученным данным для режимов установки и поддержания забойного давления обеспечивают требуемую частоту f_I питающего тока приводного электродвигателя, определяющую частоту вращения вала насоса n :

$$f_I = F_P(p_3),$$

где F_P – функция регулирования, обеспечивающая качество (монотонность) переходного процесса при любых возмущениях параметров скважины [5].

В режиме поддержания необходимого забойного давления P_3 (основном режиме работы скважины) в контроллере происходит сравнение текущего измеренного забойного давления P_3 с установленным на предыдущем режиме. При наличии их рассогласования в соответствии с функцией регулирования F_p с помощью контроллера автоматически меняется частота f_1 питающего тока, регулируя переходный процесс для установления нового значения частоты n вращения вала погружного насоса и, соответственно, давления на примере $P_{пр}$ и предыдущего забойного давления P_3 [6].

Достоинством предлагаемого способа эксплуатации скважины является оптимизация ее работы, что обеспечивает рост добычи нефти, коэффициента нефтеотдачи и межремонтного периода путем определения и регулирования по фактической индикаторной диаграмме оптимальной для требуемого дебита рабочей точки по забойному давлению с заданным качеством переходных процессов. При этом также обеспечены оптимальные условия эксплуатации приводного электродвигателя за счет ограничений по его вибрациям и температуре с дополнительным учетом влияния контролируемых параметров – температуры скважинной жидкости на приеме насоса и давления в компенсаторе гидрозащиты электродвигателя.

Список литературы

1. Ивановский В.Н. Энергетика добычи нефти: основные направления оптимизации энергопотребления // Инженерная практика, 2011. – № 6. – С. 18–26.
2. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – С. 158–166.
3. Зейгман Ю.В., Гумеров О.А., Генералов И.В. Выбор оборудования и режима работы скважин с установками штанговых и электроцентробежных насосов: Учеб. Пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – 120 с.
4. Зейгман Ю.В. Справочник нефтяника /Зейгман Ю.В., Шамаев Г.А. – 2-е издание, доп. и перераб. – Уфа: Тау, 2005. – 272 с.
5. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти: Учебник для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: ООО ТИА «Альянс», 2005. – 510 с.
6. Абызбаев И.И., Андреев В.Е. Прогнозирование применения новых методов увеличения нефтеотдачи при освоении трудноизвлекаемых запасов нефти: Монография. – Уфа, 2007. – 204 с.

УДК 621.313

ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЧРП НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Д.Р. Фарушкин¹, Т.Х. Мухаметгалеев²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹d.farukshin@gmail.com, ²banzay-13-13@yandex.ru

Аннотация. Данная проектная работа посвящена разработке и исследованию насосной установки с каскадной схемой управления на базе преобразователя частоты. Проект основан на расчете и моделировании всех элементов электропривода, входящих в состав установки. Произведен расчет энергосбережения при эксплуатации установки, а также подсчет затрат на ремонт и обслуживание насосной станции.

Ключевые слова: насосная установка, преобразователь частоты, электропривод, каскадная схема управления, энергосбережение.

Насосная станция (НС) – установка, состоящая из двух или более насосов, запорной и регулирующей арматуры, а также системы управления её производительностью. В электрических насосных станциях используется два основных способа регулирования производительности – каскадное и частотное регулирование. Также, широко применяется третий тип управления насосной установкой, включающий в себя одновременное использование двух первых способов – т. е., каскадно-частотное регулирование [1].

Применение каскадно-частотного регулирования в автоматизированных НС обеспечивает снижение потребления электроэнергии до 50 % по сравнению с использовавшимися ранее традиционными принципами регулирования. В настоящее время широко распространен упрощенный способ каскадно-частотного регулирования, при котором ПЧ управляет только одним насосом, а остальными по мере необходимости подает команды на пуск и останов. При пуске дополнительных насосов, их электродвигатели подключаются напрямую к сети. Достоинствами такого способа являются – простота и надежность, а также минимальное количество оборудования для создания автоматизированной НС [2].

Целью данной работы является разработка и исследование насосной установки с каскадной схемой управления на базе преобразователя частоты VLT-202. Проектная работа включает в себя расчет элементов электропривода насосной установки, расчет и проектирование силовой части преобразователя частоты, а также расчет энергосбережения при эксплуатации данной установки на промышленных предприятиях.

Проект данной установки показывает, что каскадное управление позволяет достигать заданной величины давления, путем поочередного ввода в работу двигателей. Данная процедура позволяет регулировать производительность установки путем включения или выключения требуемого числа

насосов в зависимости от водопотребления. Первым всегда включается насос, который регулируется частотным преобразователем. Последующие насосы включаются напрямую от сети питания как дополнительные по мере увеличения расхода в системе потребления.

Также возможен способ управления, при котором все насосы снабжены своим собственным преобразователем частоты – это обеспечивает отсутствие таких недостатков, как появление гидравлических ударов при пуске и останове дополнительных насосов, появление в электросети бросков напряжения, связанных с переходными процессами при пуске двигателей, невозможность поддержания точного давления в системе, флуктуации давления при включении или выключении дополнительных насосов. Однако, наличие такого количества преобразователей частоты требует существенных материальных затрат. Кроме того, такой вариант построения автоматизированной НС применительно к ЖКХ является избыточным [2].

По итогам выполненной работы можно сделать вывод о том, что управление насосной установкой с каскадно-частотным регулированием электропривода является весьма эффективным способом как с точки зрения производительности насосов, так и с точки зрения энергосбережения при их эксплуатации.

Список литературы

1. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Изд-во «Машиностроение», 2013. – С. 62–67.
2. Лезнов Б.С. Технологические основы использования регулируемого ЭП в насосных установках // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – М., 2012. – С. 124–127.

УДК 621.313

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБМОТКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Н. Хуснутдинов, Л.Н. Киснеева, М.Н. Маслахова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: aktuba@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются полученные результаты и зависимости плотности распределения надежности, позволяющие использовать их на этапах проектирования и эксплуатации асинхронных электродвигателей (АД) для оптимизации их режимов и планово-предупредительных ремонтов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, надежность, отказ, старение элементов, разрушение.

Характерными видами отказов электрических машин могут быть: изменение геометрии коллекторов, износ деталей подшипниковых узлов и др. В АД к постепенным видам отказов можно отнести износ изоляции обмоток статора. Основными факторами, влияющими на устойчивую работу изоляции, могут быть: тепловые и вибрация. Как было ранее сказано если АД работают в производственных цехах в режиме соответствующего производственной нагрузке. Тогда можно считать, что условия работы АД соответствуют ТУ. Параметры надежности для постепенных отказов будут выражаться законом Гаусса. Однако, как было показано в предыдущей главе, нагрузка АД меняется в зависимости от производственной нагрузки. Это приводит при недопустимых перегрузках к ускоренному старению элементов и разрушению АД.

Внезапный отказ АД характеризуется скачкообразным изменением параметров под воздействием многих случайных факторов. Разделение отказов на внезапный и постепенный имеет все таки условный характер. В данном случае будем иметь ввиду частичное или полное разрушение узлов и деталей АД, с нарушением работоспособности объекта.

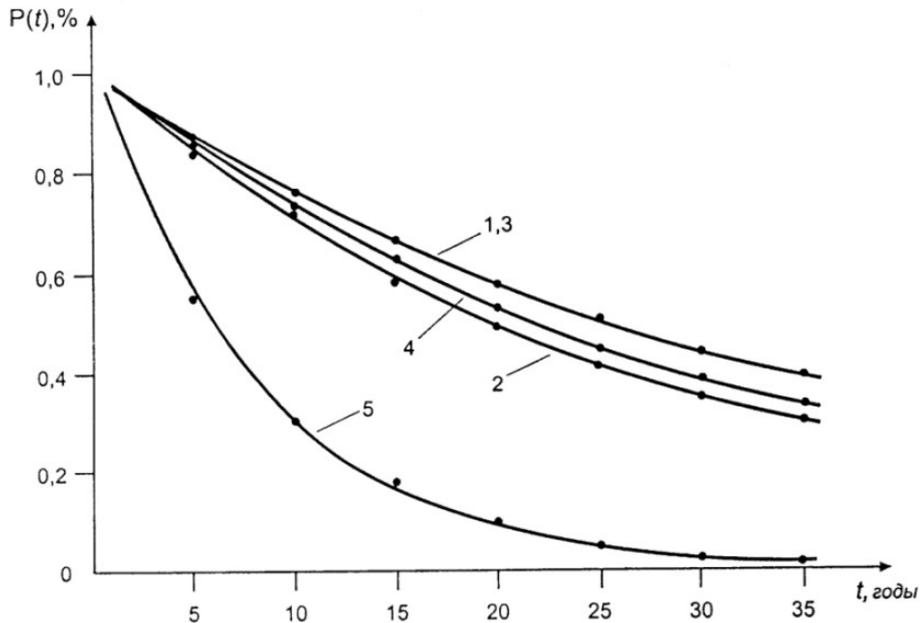
Необходимо иметь ввиду следующие дополнительные условия. Время работы АД принимается до первого отказа. Таковы условия эксперимента. Отказы учитываются только внезапные. При этом они независимые. В процессе экспериментальных исследований под наблюдение принимаются только элементы паза (обмотки) статора АД.

В таблице приведены характеристики надежности его деталей.

Статистические характеристики надежности АД

№ п/п	Параметры деталей	Размерность	Витковая изоляция (пробой)	Пробой катушки статора	Пробой изоляции корпуса (паза)	Обрыв секции (витка)	Надежность узла ΣT_i
1	Наработка Σ	год	987	1886	516	31	3420
2	N	ед. АД	27	65	14	1	108
3	T	год	36,6	29,02	36,86	31	33,37
4	λ	1/год	0,027	0,035	0,027	0,032	0,121

Наименьшую интенсивность отказов имеют витковая изоляция и случаи пробоя изоляции на корпус (паз). Для оценки ВБР для каждого из элементов паза расчетным путем были определены их значения по интервалам наработки. На рисунке приведены их графические зависимости.



ВБР деталей обмотки паза статора АД

Список литературы

1. Хуснутдинов А.Н. Исследование влияния эксплуатационных факторов на температурное поле обмотки якоря генератора ГП-311Б / А.Н. Хуснутдинов, Р.Г. Идиятуллин, А.М. Вдовин, А.В. Попов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 437–438.

2. Хуснутдинов А.Н. Оценка эксплуатационной надежности тяговых генераторов / А.Н. Хуснутдинов, Р.Г. Идиятуллин, А.М. Вдовин, А.В. Попов, Л.Н. Киснеева // Известия высших учебных заведений: Проблемы энергетики. – 2012. – № 11–12. – С. 108–114.

УДК 62.838

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕДУКТОРНОГО И БЕЗРЕДУКТОРНОГО ПРИВодОВ РАДИОЛОКАТОРОВ

И.К. Цыбрий¹, И.М. Ермоленко², Г.Г. Шишкин³

ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: ¹irconst@mail.ru, ²ermolenko-dstu@mail.ru,

³shishkin.gleb95@gmail.com

Аннотация. На основании требований, предъявляемых к режимам работы приводов вращения радиолокационных станций (РЛС), и экспериментальных исследований проведен сравнительный анализ пусковых характеристик применяемых в системах слежения РЛС редукторных двигателей и безредукторной системы, показаны преимущества последней в части точности выхода на заданную позицию и быстродействия.

Ключевые слова: привод вращения РЛС, безредукторный привод, быстродействие, точность позиционирования.

Постановка задачи. Основным источником информации о перемещении воздушных объектов являются радиолокационные станции. Разведка воздушного пространства зависит от правильного выбора радиолокационных комплексов и режимов их работы.

Высокие требования, предъявляемые к характеристикам качества приводов вращения антенн РЛС, включают, в частности, повышенную точность позиционирования антенны и минимальное время выхода на заданную позицию [1]. Применение в настоящее время редукторных приводов увеличивает риск выхода системы из строя и повышает массогабаритные характеристики. Современные системы управления дают возможность исключить редукторную часть. В этом случае антенна жестко устанавливается на ротор электродвигателя. Одним из возможных вариантов реализации данной конструкции является привод с синхронным (вентильным) ВД электродвигателем [2]. Поэтому задачей данной работы является проведение сравнительного анализа точности позиционирования антенны и времени выхода на заданную позицию при использовании редукторного привода и привода с вентильным электродвигателем.

Экспериментальная часть. Для проведения сравнительного анализа были использованы следующие системы приводов:

– автономный вторичный радиолокатор «Корень-АС», применяемый для управления воздушным движением в аэродромной зоне, и состоящий из нижней редукторной части, редуцирующей скорость вращения двигателя, и верхней части, где располагаются датчики [3];

– трехкоординатная радиолокационная станция 19Ж6, предназначенная для дальнего обнаружения целей, а так же их сопровождения их [4];

– вентильный электродвигатель ВД на постоянных магнитах с полым валом, состоящий из статора, имеющего в шихтовом порядке уложенную медную обмотку, и ротора с расположенными в круговом порядке постоянными магнитами; для повышения точности определения координат местоположения в инерционном режиме и коррекции дрейфа гироскопов предусмотрено подключение системы к датчику угла поворота опорно-поворотного устройства [5, 6].

Данные по скорости и точности позиционирования, фиксировались с помощью инкрементального датчика угла поворота ECN 113, представленного на рис. 1 с погрешностью 1". Датчик устанавливался соосно приводу вращения на неподвижное основание. В процессе вращения верхнего фланца на выходах фиксируются импульсы, количество которых прямо пропорционально углу поворота. Инкрементальный энкодер определяет

не абсолютное положение вала в пределах полного оборота, а относительное смещение от предыдущего положения. На диск энкодера равномерно нанесены однотипные метки. Количество меток определяет количество импульсов за один оборот. Для определения направления вращения вала используется второй датчик, смещенный относительно первого на четверть шага. По разности фаз сигналов датчиков определяется направление вращения диска.

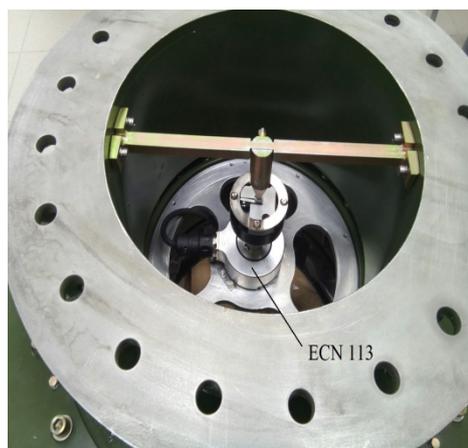
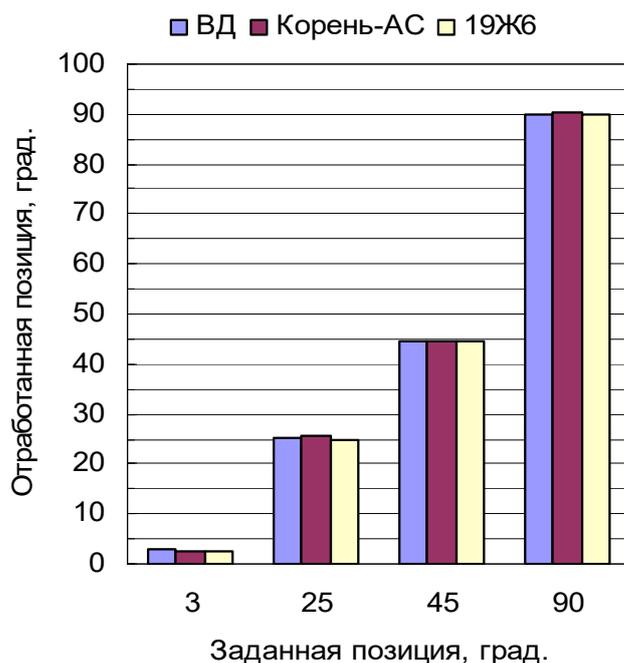
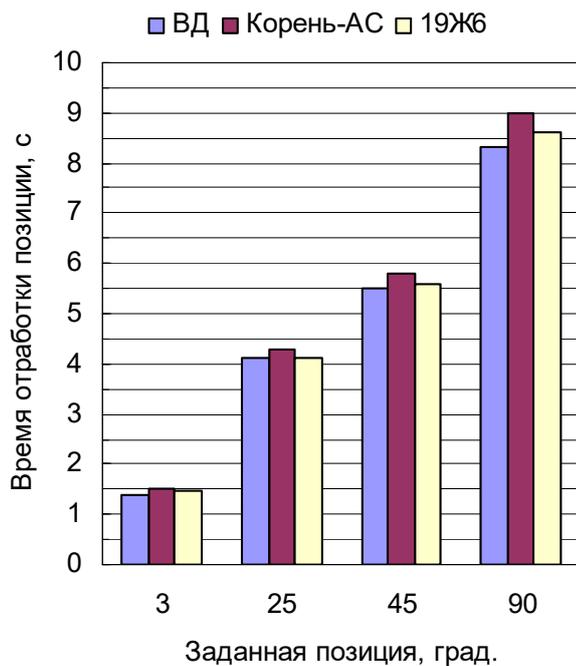


Рис. 1. Инкрементальный датчик угла поворота ECN 113

Для определения искомых характеристик каждому приводу задавались следующие позиции поворота вала двигателей: 3° , 25° , 45° , 90° . Во время эксперимента фиксировалось время отработки каждой позиции и соответствие отработанной позиции заданному значению. Представленные на рис. 2 графики построены по средним за пять циклов испытаний значений времени отработки позиции и точности отработки.





б

Рис. 2. Графики выхода на отработанную позицию (а) и времени выхода на отработанную позицию (б) в зависимости от заданной позиции

Заключение. Как видно из данных эксперимента, минимальное время отработки заданной позиции имеет вентильный двигатель. Так выход на позицию 90° для него составил 8,3 с, тогда как для приводов «Корень-АС» и 19Ж6 это время равнялось 9 и 8,6 с соответственно.

Рассчитанная по пяти циклам измерений максимальная абсолютная погрешность позиционирования составила для 2" по сравнению с приводами 19Ж6 и Корень-АС с погрешностями 30" и 1° соответственно.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что как по точности выхода на заданную позицию, так и по быстрдействию вентильный двигатель имеет преимущество перед приводами радиолокатора «Корень-АС» и радиолокационной станции 19Ж6. А с учетом снижения массогабаритов и повышения надежности из-за отсутствия редукторной части данный привод может быть рекомендован как альтернатива используемым в настоящее время редукторным приводам.

Список литературы

1. А.Н. Закладной, О.А. Закладной. – Энергоэффективный привод с вентильными двигателями // 2012.
2. Ильинский Н.Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода / Н.Ф. Ильинский. – Электричество, 2003. – № 2. – С. 3–7.

3. И.В. Загребин, А.В. Романов. Модернизация электропривода вращения антенны вторичного радиолокатора «КОРЕНЬ-АС» // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2007. – № 117. – С.117–136.

4. Е.В. Душинова, Е.М. Потапенко, С.Г. Деев, О.Е. Шибалкин, А.А. Шийка – Электропривод поворота антенны радиолокационной станции // Электротехника і електроенергетика, 2011. – № 1. – С. 26–34.

5. Козлов В., Попов Б.Н. Цифровая коррекция статических характеристик вентильного двигателя // Электронный журнал «Труды МАИ», 2011. – № 49.

6. Козлов В., Мещерская Е.М., Попов Б.Н. Вычисление скорости и обнаружение отказов в системах с вентильными двигателями // XIV Международный научно-технический семинар, Алушта, 2010.

УДК621.438

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ

Ю.С. Черникова¹, С.В. Лукин²

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

E-mail: ¹upkaramelka@mail.ru, ²s.v.luk@yandex.ru

Аннотация. Работа энергетической газотурбинной установки зависит от параметров наружного воздуха. Проведен анализ зависимости расхода воздуха, мощности, электрического КПД, расхода электроэнергии на холодильный цикл от температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: температура, мощность, компрессор, расход воздуха, расход электроэнергии, КПД, холодильный цикл.

Газотурбинная установка (ГТУ) – это тепловой двигатель, в котором химическая энергия топлива преобразуется в теплоту а затем в механическую энергию [1].

Газотурбинная установка состоит из трех основных элементов. Воздушный компрессор, в котором сжимается атмосферный воздух. Камера сгорания, где идет преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию рабочего тела. Газовая турбина, преобразовывает энергию кипящих газов в крутящий момент на валу установки. Большая часть энергии потребляется компрессором, а оставшаяся ее часть передается электрогенератору, к которому подключается нагрузка. [1]

Работа энергетической ГТУ зависит от параметров наружного воздуха: давления, температуры, и влагосодержания.

При изменении давления, температуры или влажности наружного воздуха изменяется его плотность. А это снижает массовый расход воздуха, забираемого из атмосферы компрессором, и мощностью ГТУ изменяет все ее характеристики.

Учитывая высокую чувствительность газотурбинной установки к температуре наружного воздуха, при которой каждому градусу изменения температуры воздуха на входе компрессора установки соответствует изменение её эффективной мощности на 1 % и выше.

Была поставлена задача, провести анализ различных способов определения располагаемой мощности газотурбинной установки в зависимости от температуры наружного воздуха.

На рис. 1 показана зависимость массового расхода воздуха, забираемого компрессором ГТУ от температуры наружного воздуха. Из рис. 1 видно, что при увеличении температуры от 0 до 40 °С, массовый расход воздуха уменьшается от 650 до 580 кг/с, что составляет 10 %. Наоборот, при понижении температуры воздуха до 5 °С, массовый расход воздуха увеличивается. Следовательно, чем выше массовый расход, тем выше давление сжатого воздуха в компрессоре, выделяемое количество тепла, температура газов. Тогда работа газотурбинной установки весьма эффективна.

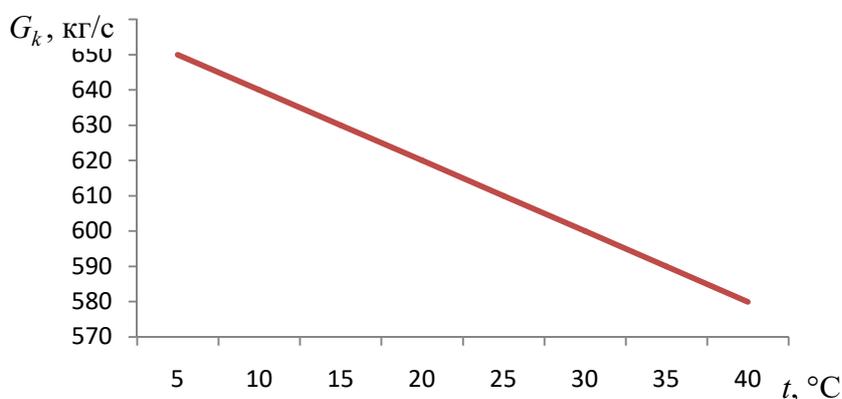


Рис. 1. Зависимость массового расхода воздуха на входе в компрессор и температуры

На рис. 2 показано падение электрической мощности с повышением температуры наружного воздуха. Из рис. 2 видно, что при увеличении температуры от 0 до 30 °С, электрическая мощность N уменьшается от 320 до 220 МВт, т.е. на 31 %. Наоборот, при понижении температуры воздуха до 5 °С электрическая мощность возрастает. На рис. 3 показано падение электрического коэффициента полезного действия с повышением температуры наружного воздуха. Из рис. 3 видно, что при увеличении температуры от 0 до 40 °С, КПД η уменьшается от 0,385 до 0,379, т.е. на 1,5 %.

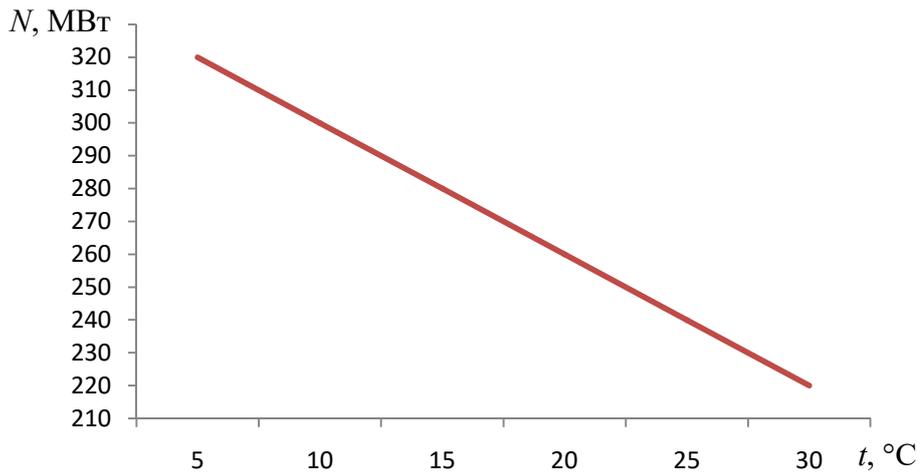


Рис. 2. Зависимость электрической мощности от температуры наружного воздуха

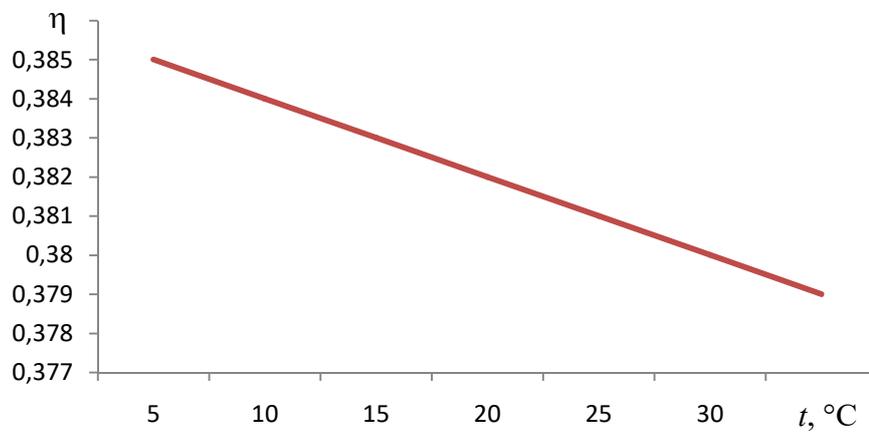


Рис. 3. Зависимость электрического КПД и температуры наружного воздуха

На рис. 4 показан расход электроэнергии на холодильный цикл и температуры воздуха. Из рис. 4 видно, что при увеличении температуры от 0 до 40 °C, расход электроэнергии W уменьшается от 460 до 400 кДж/кг, т.е. на 13 %.

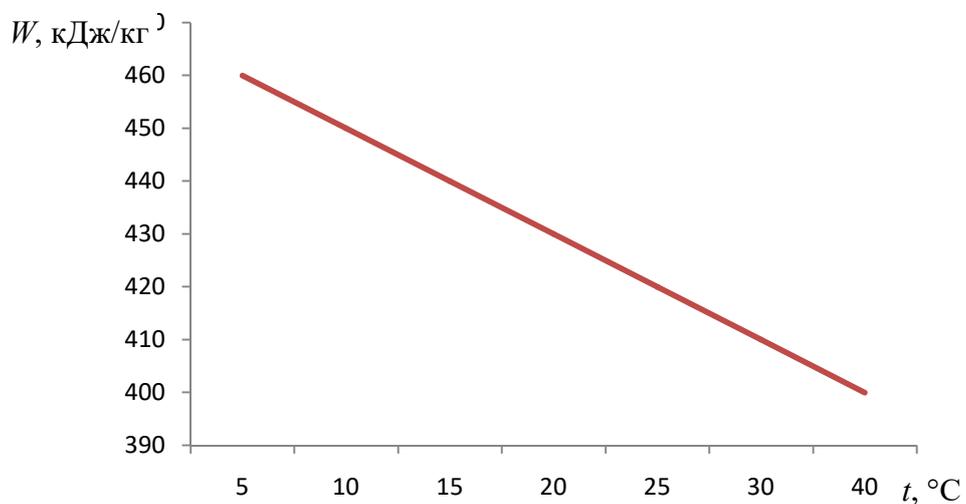


Рис. 4. Расхода электроэнергии на холодильный цикл и температуры воздуха

На рис. 5 показана зависимость величин N , W_x , $\Delta N_{\text{ГТУ}}$ от изменения температуры воздуха T . Отсюда следует, что, например, при изменении температуры воздуха на $T = 10 \text{ К}$ ($t = 25 \text{ °C}$, $t_0 = 15 \text{ °C}$) мощность ГТУ (без охлаждения воздуха) снижается на 20,9 МВт ($N = -20,9 \text{ МВт}$). При охлаждении воздуха с расходом 650 кг/с на 10 К требуется расход холода $Q_x = 6,5 \text{ МВт}$. Расход электроэнергии на парокомпрессионный холодильный цикл при составит 1,3 МВт ($W_x = 1,3 \text{ МВт}$). При этом мощность ГТУ восстановится до номинального значения и выигрыш в электрической мощности составит 19,6 МВт ($\Delta N_{\text{ГТУ}} = 19,6 \text{ МВт}$).

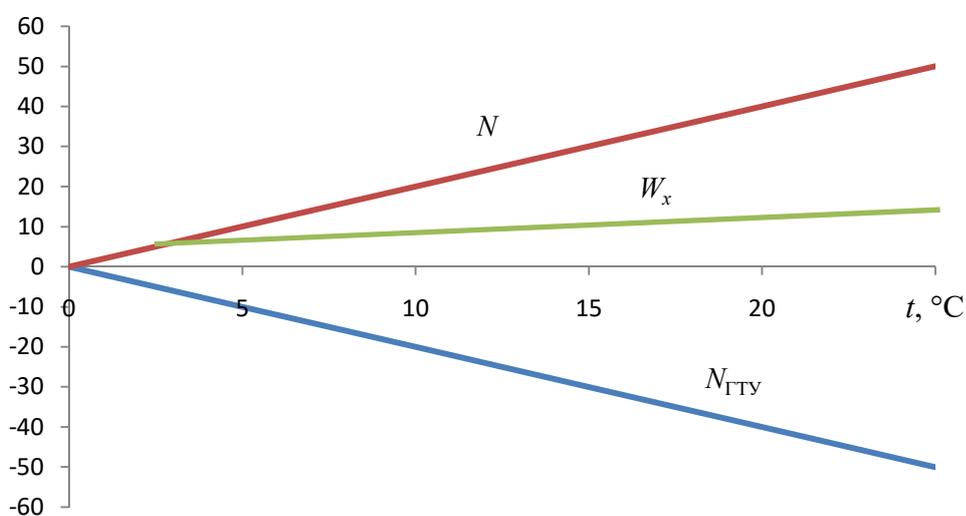


Рис. 5. Зависимость величин N , W_x , $N_{\text{ГТУ}}$ от изменения температуры воздуха ΔT

Отношение $W_x/\Delta N_{\text{ГТУ}} \cong 6,6 \%$, т.е. затрачивая 1 кВт электроэнергии на холодильный цикл можно получить 15 кВт выигрыша в электрической мощности.

При повышении температуры наружного воздуха, начинается спад электрической мощности ГТУ и падение КПД, при понижении температуры наружного воздуха, эти характеристики ГТУ начинают расти. Для охлаждения воздуха перед ГТУ в летний период времени можно использовать стандартные воздухоохладители, применяемые в некоторых ГТУ при промежуточном охлаждении воздуха между компрессорами низкого и высокого давления, или собирать воздухоохладители из стандартных секций оребренных труб, причем внутри труб должна протекать охлаждающая вода.

Список литературы

1. Шахин Н., Акул Х. Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели, 2011. – № 2. – С. 8–11.

УДК 621.3.072.3

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДО 1000 В

Р.Р. Шарипов

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. О.В. Владимиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Аннотация. Оценка энергетических показателей асинхронных двигателей после капитального ремонта проводится для оценки их соответствия номинальным значениям. Обзор существующих стендов указывает на необходимость поиска новых решений в сфере технической диагностики, позволивших бы снизить стоимость оборудования и расширить диагностический диапазон, в котором можно производить испытания двигателей. Предложена концепция стенда для испытания асинхронных двигателей под нагрузкой, содержащий симметричные тиристорные элементы в цепи каждой фазы обмотки статора двигателя, служащие для формирования управляющих импульсов и уровней напряжения при проведении диагностики.

Ключевые слова: стенд, испытания, асинхронный двигатель, нагрузка, режим работы.

Известно, что после капитального ремонта электрические параметры машины изменяются, что приводит к снижению ее энергетических показателей, особенно при неоднократных ремонтах. Поэтому знание измененных энергетических показателей является важным для принятия мер по сохранению ресурса электрической машины в процессе эксплуатации. Необходимая послеремонтная оценка заводских (номинальных) паспортных данных электрической машины возможна испытанием ее под нагрузкой.

Известны стенды для испытания асинхронных двигателей под динамической нагрузкой с воздействием на статорные цепи, реализованное с помощью преобразователя частоты.

Технический результат предлагаемого стенда заключается в упрощении устройства для испытания асинхронных двигателей и формировании при испытании синусоидального напряжения на статоре двигателя в режимах, приближенных к эксплуатационным.

Блок управления режимами работы двигателя представляет собой программируемый логический контроллер малого формата, содержащий интегрированные аналоговые и дискретные входы и выходы. Программирование контроллера на заданный алгоритм функционирования (коммутации) производится в операционной системе, представляющей собой язык программирования блоковых диаграмм, например стандарт FBD IEC1131-3. Устройство снабжено необходимыми датчиками, приборами и регистрирующей аппаратурой.

Применение предлагаемого стенда позволяет проводить испытания асинхронных двигателей в широком диапазоне синусоидальных токов нагрузки во всех режимах работы (пуск, реверсирование, наброс и сброс нагрузки) с имитацией режимов работы, приближенных к эксплуатационным, что позволяет объективно оценить качество ремонта электрической машины, ее энергетические показатели в сравнении с паспортными. Все это обеспечивает принятие мер по сохранению ресурса машины в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний: ГОСТ 7217-87. – Изд. авг. 2003 с Изм. 2 (ИУС. 2001. № 19). – Введ. 01.01.1988.

2. Двигатели асинхронные. Общие технические условия: ГОСТ 16264.1-85. – Изд. дек. 1993 с Изм. 2 (ИУС. 1994. № 11-12). – Введ. 01.01.1986.

3. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний: ГОСТ Р 53472-2009. – Введ. 01.01.2011.

УДК 621.316.7

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Н.Н. Щелочков, А.Л. Кислицин

УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. Инструментальное обследование является важным этапом энергетического обследования предприятия. Оно применяется для получения информации, которую не удалось обнаружить при ознакомлении с объектом обследования. Инструментальное обследование позволяет составить более точную картину режимов электрической сети предприятия и обнаружить способы повышения эффективности передачи электроэнергии.

Ключевые слова: повышение эффективности передачи электроэнергии, режимы электрической сети.

При проведении инструментального обследования следует применять специализированные портативные приборы. Выбирая приборы, следует отдать предпочтение наиболее multifunctional вариантам, если при этом обеспечивается требуемая точность. В эксплуатации следует особое внимание уделить аккумуляторам этих приборов. Они должны обеспечить положенное время измерений и работать бесперебойно.

Приступая к обследованию, следует уделять наибольшее внимание коммерческим и техническим узлам учета электроэнергии с просроченными метрологическими средствами измерения и индукционными счетчиками. Необходимо выделить объекты, которые подлежат комплексному инструментальному исследованию. Измерения при этом подразделяются на следующие виды:

1. Однократные измерения, при которых исследуется отдельный объект в определенном режиме работы.

2. Балансовые измерения, которые применяются для контроля баланса электроэнергии по отдельным потребителям, участкам сети, предприятию в целом. Перед проведением балансовых измерений необходимо иметь схему электрической сети, по которой должен быть составлен план измерений, необходимых для сведения балансов. При этом желательно иметь несколько измерительных приборов для одновременных измерений в различных точках.

3. Регистрация параметров – исследование изменения какого-либо параметра во времени (например, снятие суточного графика нагрузки, графика отклонений напряжения и частоты в узлах сети при пусках мощных электроустановок и т.д.). При этом виде измерений следует использовать приборы с внутренними или внешними устройствами записи и хранения данных и возможностью их последующего анализа в компьютере. В ряде случаев допускается применение стационарных приборов без записывающих устройств, но при условии снятия показаний через равные промежутки времени.

4. Обследование технического состояния электрических сетей – на этом этапе обследования проводится техническая экспертиза физического и морального износа оборудования с целью определения и обоснования затрат на ремонт.

При анализе технического состояния должны по возможности использоваться соответствующие приборы и методики. К примеру, тепловизоры применяют для контроля местных нагревов электрооборудования, соединений, контактов; методы и приборы для контроля состояния масла трансформаторов; щупы для определения степени загнивания деревянных опор; приборы для оценки технического состояния опорных изоляторов разъединителей, фарфоровых крышек выключателей и т.п.

К инструментальным обследованиям условно можно отнести работу по первичному анализу результатов с помощью сертифицированного программного обеспечения. В идеале, следует применять программное обеспечение, разработанное фирмой-изготовителем приборов, используемых при обследовании. Это позволит избежать лишних трудностей, связанных с конфликтом форматов записи приборов и обеспечит надежное чтение и анализ полученных данных.

В результате первичного анализа, на основе материалов, полученных при обследовании, следует определить достоверность полученных данных, исключить все возможные ошибки, закравшиеся в ходе измерений, при необходимости измерить необходимые параметры повторно и сделать соответствующие выводы о наличии или отсутствии целостной общей картины. В случае, если информация, собранная в результате обследования оказалась неполной, следует дополнить её уточняющими измерениями.

Выводы

Инструментальное обследование, выполненное наиболее полно и точно, является ключевым этапом энергетических обследований, потому что его результаты являются исходными данными для дальнейших поисков предложений по увеличению энергоэффективности. Соответственно инструментальное обследование, проведенное недостаточно профессионально или досконально может свести к нулю полезность дальнейших изысканий, в результате чего целый ряд энергетических обследований может оказаться пустой тратой времени и ресурсов предприятия.

В связи с вышеперечисленным, руководителю энергетических обследований (или лицу, выполняющему его функции) следует обращать внимание на материально-техническую базу группы, занимающейся инструментальным обследованием, на корректное проведение работ, и, что наиболее важно, на практический опыт исполнителей. Статистика показывает, что опытный работник может заранее предложить ряд решений, способных во многом облегчить и рационализировать процесс получения результатов, избежать нелепых ошибок и обладает достаточной самостоятельностью.

Список литературы

1. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие / А.И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.
2. В.М. Фокин. Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

УДК 621.315.21

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А.А. Юсупова¹

Научный руководитель – д-р. техн. наук, доц. Е.И. Грачева²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹89600375992@yandex.ru, ²grachieva.i@bk.ru

Кабельные линии – наиболее трудно проверяемые элементы системы электроснабжения на предмет их технического состояния. Несмотря на это, исследование их изоляции в условиях эксплуатации имеет большую практическую значимость и является обязательным.

Остро стоит вопрос создания новых методов неразрушающей диагностики, которые позволят классифицировать кабельные линии по их остаточному ресурсу и создать алгоритм постепенной замены старых кабелей, что реально увеличит сроку их службы сверх нормативных сроков и обеспечит надежную эксплуатацию и качественное техническое обслуживание кабельных линий.

Современный уровень техники не предлагает достаточно качественного способа определения состояния кабельных линий без их разрушения или снижения остаточного ресурса. В рамках исследовательской работы был предложен способ повышения точности определения количества дефектов, а также расстояния до каждого из них относительно точки измерения.

Для достижения указанного технического результата предложено использовать способ определения дефектов изоляции, включающий предварительное определение методом высокочастотной рефлектометрии электрической емкости дефектов изоляции, определение значений входного сопротивления, волнового сопротивления контролируемого участка изолированного кабеля или трубы и коэффициента отражения на входе кабеля и вычисление на основе коэффициента отражения места нахождения дефекта, причем указанный коэффициент представляют в виде

$$\Gamma = (Z_B - Z_{BX})(Z_B + Z_{BX})^{-1},$$

где Z_B – волновое сопротивление; Z_{BX} – входное сопротивление.

Особенностью предлагаемого способа является то, что дополнительно при вычислении коэффициента отражения определяют действительную часть коэффициента отражения по формуле:

$$\operatorname{Re}(\Gamma\beta) = K_1 \sin(2\beta x_1) + K_2 \sin(2\beta x_2) + \dots + K_n \sin(2\beta x_n),$$

где $\operatorname{Re}(\Gamma\beta)$ – действительная часть коэффициента отражения, который в свою очередь определяется как

$$K_n = 0,5 \cdot v \cdot \beta_n \cdot e^{-2x_n\alpha},$$

где x_n – расстояние от точки измерения до n -го дефекта изоляции; n – количество дефектов на контролируемом участке изоляции; α, β – коэффициенты затухания и фазы; $\beta_n = C/G_v$, здесь G_v – волновая проводимость в проводнике, C – емкость дефекта изоляции; v – фазовая скорость распространения волны в проводнике.

Таким образом, методика диагностики трехфазных кабелей при подключении зондирующего генератора по схеме «три объединенные жилы – оболочка» сводится к методике диагностики одножильных кабелей при соответствующем определении волновых сопротивлений трехфазных КЛ. При необходимости диагностику можно вести, подключая генератор между жилами кабеля.

На основе теоретических исследований и модельных экспериментов разработан новый метод высокочастотной рефлектометрии для неразрушающего контроля изоляции кабельных линий.

Метод позволяет определять локальные и распределенные дефекты кабельной изоляции, схема замещения которых представляется емкостью и проводимостью.

Точность метода контроля определяется шагом дискретизации зондирующего сигнала и выбранной длиной волны и отвечает всем пунктам требований к методам контроля.

Метод контроля может быть использован не только в условиях эксплуатации, но и на заводе-изготовителе. При соответствующей адаптации метод может с успехом использоваться для контроля изоляции электрических машин.

УДК 621.317

СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

П.И. Якупова

ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа
E-mail: polina-yakupova@yandex.ru

Аннотация. В статье дается описание проблемы контроля состояния контактных соединений распределительных устройств, приводятся основные средства измерения, используемые для решения данной проблемы, описывается разрабатываемая информационно-измерительная система удаленного мониторинга температуры контактных соединений.

Ключевые слова: контактные соединения, переходное сопротивление, оптоволоконный датчик, распределительное устройство.

Ключевая задача электроэнергетики – бесперебойное обеспечение потребителей электрической энергией. Важную роль в решении этой проблемы играет своевременное и качественное проведение диагностирования состояния и технического обслуживания электрооборудования, входящего в состав электроустановок.

Осмотр распределительных устройств на объектах с постоянным дежурством персонала проводится не реже одного раза в сутки; в темное время суток для выявления разрядов, коронирования и на объектах без постоянного дежурства персонала – не реже одного раза в месяц, а в трансформаторных и распределительных пунктах – не реже одного раза в шесть месяцев.

Осмотр включает в себя проверку температуры, уровня масла, отсутствия течи в маслonaполненном оборудовании; соответствия указателей положения коммутационных аппаратов их действительному положению; состояния изоляции; состояния проводников заземляющих устройств и т.д.

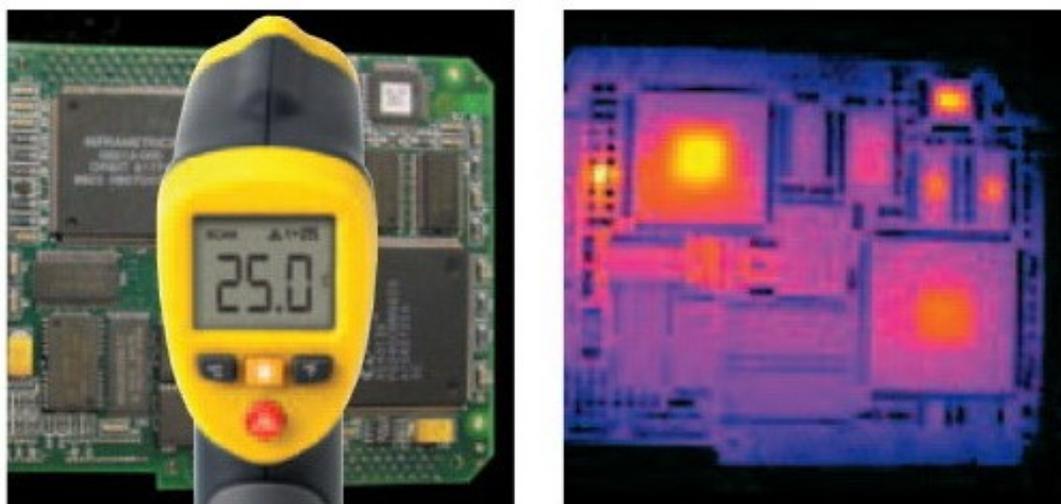
Отдельное внимание уделяют состоянию контактных соединений ошиновки. В процессе эксплуатации любого контактного соединения его переходное сопротивление возрастает вследствие окисления поверхностей соприкосновения и ослабления контактного давления под воздействием окружающей среды, механических нагрузок, токов нагрузки и коротких замыканий. При возрастании переходного сопротивления температура контактного соединения увеличивается, окислительные процессы ускоряются, вызывая еще большее увеличение переходного сопротивления. В конечном итоге происходит выгорание контактного соединения, обгарание изоляции, результатом чего становится авария и простой оборудования [1]. Поэтому проблема контроля состояния контактных соединений весьма актуальна.

Обслуживающий персонал может определить состояние контакта визуально: потемнение поверхности, искрение, испарение влаги при дожде указывают на повышенную температуру контактного соединения. Более точно его состояние определяют, измеряя микроомметром переходное сопротивление или температуру контакта. Сопротивление контактного соединения должно быть меньше сопротивления целого участка шины, равного длине контактного соединения, как минимум на 20 %. Температура контактного соединения не должна превышать 90 °С.

Для температурного контроля контактных соединений существуют различные средства. В частности, термопленки наклеивают на контактные соединения и по изменяющемуся цвету пленки определяют его температуру. Термочувствительные краски также наносят на контролируемый объект и по изменению ее цвета судят об изменении температуры объекта.

Пирометры и тепловизоры предназначены для бесконтактного измерения температуры объекта. Принцип их работы основан на том, что все нагретые тела излучают инфракрасные волны различной интенсивности в зависимости от температуры до которой они нагреты.

Если пирометр дистанционно определяет температуру в определенной точке объекта измерения, то тепловизор может дополнительно отобразить наглядную двухмерную цветовую картину распределения тепла по его поверхности. То есть, пирометр является дистанционным инфракрасным термометром, а тепловизор сочетает в себе свойства пирометра и видеокамеры с LCD-монитором, только съемка ведется не в видимой части спектра, а в его инфракрасной области (рис. 1).



a

б

Рис. 1. Измерение температуры пирометром (*a*) и тепловизором (*б*)

Следует отметить, что при своей простоте и удобстве упомянутые выше средства, не могут контролировать температуру контактных соединений, когда оборудование расположено удаленно и нет постоянно присутствующего обслуживающего персонала. Внедрение удаленного контроля позволило бы устранить существующую проблему и предотвращать аварийность до наступления процессов, которые могут привести к полному выводу трансформаторного оборудования из строя.

Поэтому в настоящее время для предотвращения аварийных ситуаций разрабатываются и внедряются различные системы контроля температуры контактных соединений.

Предлагается к описанию разрабатываемая информационно-измерительная система, позволяющая производить удаленный мониторинг нагрева контактных соединений в РУ подстанции.

Система основывается на сборе ИК излучения с нагревающегося контакта кабельных наконечников с шинами в ТП с последующей фокусировкой излучения в оптический жгут, преобразования в электрический сигнал и сигнализации о превышении температуры [2].

Основные элементы разработанной системы показаны на рис. 2.

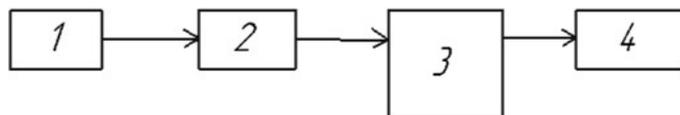


Рис. 2. Структурная схема устройства контроля контактных соединений:

1 – оптическая система; 2 – приемно-преобразующее устройство;
3 – блок отображения информации; 4 – устройство передачи информации

К оптической системе относится собирающая двояковыпуклая линза, собирающая ИК излучение с контролируемого объекта (рис. 3, а). Её фокусное расстояние, телесный угол и расстояние до объекта определяют диаметр пятна визирования. В данном устройстве диаметр линзы больше диаметра объекта, поэтому размер пятна достаточен.

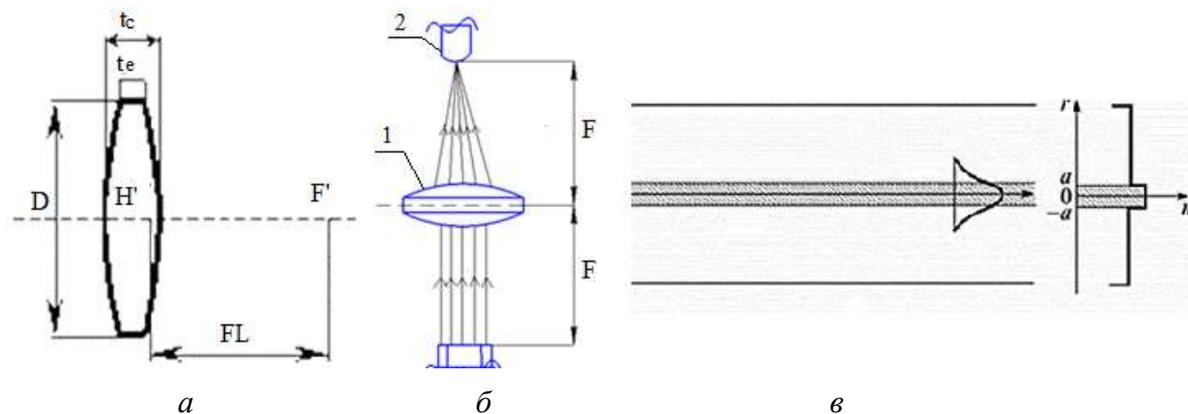


Рис. 3. Параметры двояковыпуклой линзы

На объекте, для которого разрабатывается настоящее устройство, контроль будет осуществляться за состоянием болтового соединения со следующими геометрическими параметрами: размер болта «под ключ» 21 мм, диаметр описанной окружности не менее $22,8 \text{ мм}^2$, диаметр шайбы соответствующий.

Необходимо выбрать двояковыпуклую собирающую линзу, предназначенную для фокусировки ИК излучения и передачи его на оптический жгут. Измеряемый диапазон температур от 273,15 до 473,15 К. Тепловое излучение можно представить в виде волн с длиной λ_{max} .

По закону смещения Вина длина волны λ_{max} обратно пропорциональна температуре:

$$\lambda_{\max} = b/T, \quad (1)$$

где λ_{\max} – длина волны излучения с максимальной интенсивностью; b – коэффициент называемый постоянной Вина, $b = 0,002898 \text{ м} \cdot \text{К}$.

Энергия, излучаемая всем пятном площадью s :

$$E(s) = \int_s c_1 \cdot \lambda_{\max}^{-5} \cdot e^{\left(\frac{c_2}{T \cdot \lambda_{\max}}\right)} ds = 5,2 \cdot 10^{-31} \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где $c_1 = (3,7413 + 0,0002) \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$; $c_2 = (1,4380 + 0,0001) \cdot 10^{-12} \text{ м} \cdot \text{рад}$.

Полученное при расчетах значение длины волны теплового излучения лежит в спектре пропускания кремния, поэтому он выбирается в качестве материала для линзы.

Для нормального хода лучей нужно установить устройство прямо над болтовым соединением на расстоянии, равном фокусному. Интервал между двояковыпуклой линзой и стержневой также равен фокусу для сосредоточения лучей в одной точке (см. рис. 3, б).

Собирающая линза ИК излучение фокусирует в одномодовый оптический жгут (см. рис. 3, б, в). Лучший вариант – полимерное оптическое волокно имеющее больший диаметр светонесущей сердцевины, что заметно облегчает его стыковку и монтаж, кроме того, для соединения полимерных оптических волокон не требуется применение высокоточных прецизионных разъемов.

Приёмно-преобразующее устройство включает в себя световой детектор, преобразующий световой поток переданный ему оптическим жгутом в электрический сигнал. В качестве светоприемного прибора выбирается пироэлектрический инфракрасный датчик [2], принцип действия которого основан на явлении внутреннего фотоэффекта – электроны, находящиеся в валентной зоне полупроводника или зоне примесного уровня, при поглощении света возбуждаются и переходят в зону проводимости.

Блок индикации содержит красный светодиод, загорающийся при достижении конкретной температуры объектом. Для ограничения тока, протекающего через светодиод, необходимо применить ограничительный резистор R (рис. 4). Выбор обычного резистора не позволит загореться светодиоду при конкретной пороговой температуре, поэтому необходимо подобрать терморезистор, а именно терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления-термистор. Его сопротивление должно варьироваться в зависимости от температуры, соответствующей пороговому значению и до 200 Ом (для ограничения тока, протекающего через светодиод).

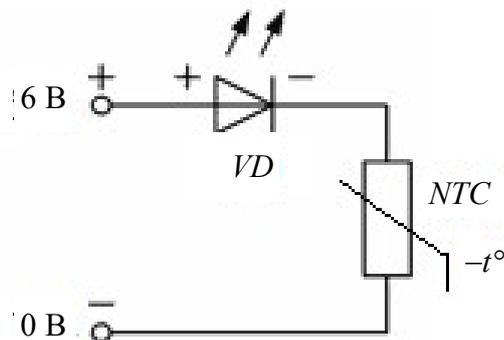


Рис. 4. Схема ограничения тока через светодиод

Зависимость сопротивления терморезистора от температуры описывается следующим эмпирическим выражением:

$$R_T = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}. \quad (3)$$

Устройство передачи информации в диспетчерский пункт может быть выполнено любым каналом связи (оптическое волокно, PLC-технология и др.), возможно расширить диапазон удаленного контроля на несколько десятков километров с применением GSM модуля с цифровым отображением контролируемых параметров ПДУ.

Одним из аналогов разработки является изобретение из патента №2408120 авторов Н.Г. Капли и Е.Н. Капли «Устройство для контроля температуры контактных соединений в устройствах, находящихся под высоким напряжением».

Устройство (рис. 5) содержит цифровой датчик температуры, связанный с приемопередатчиком, источник питания электронных схем цифрового датчика температуры и приемопередатчика выполнен в виде установленного на шине магнитопровода, снабженного обмоткой [2].

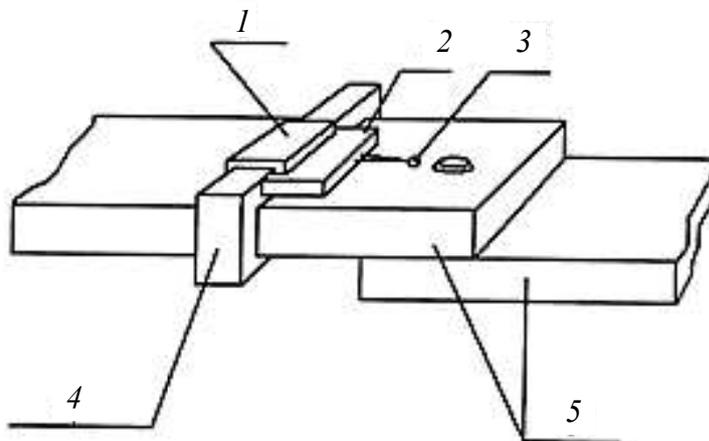


Рисунок 5 – Устройство для контроля температуры контактных соединений:
 1 – вторичная обмотка трансформатора; 2 – электронная схема; 3 – датчик температуры; 4 – магнитопровод трансформатора; 5 – шина

Еще один аналог – патент №2527567 А.И. Горшкова, А.М. Гренчука «Устройство регистрации ослабления затяжки гайки резьбового контактного соединения» (рис. 6) имеет в своей конструкции биметаллическую пластину, которая упруго введена в зацепление, расцепляемая при ее деформации при прохождении токов превышающее пороговое значение [3].

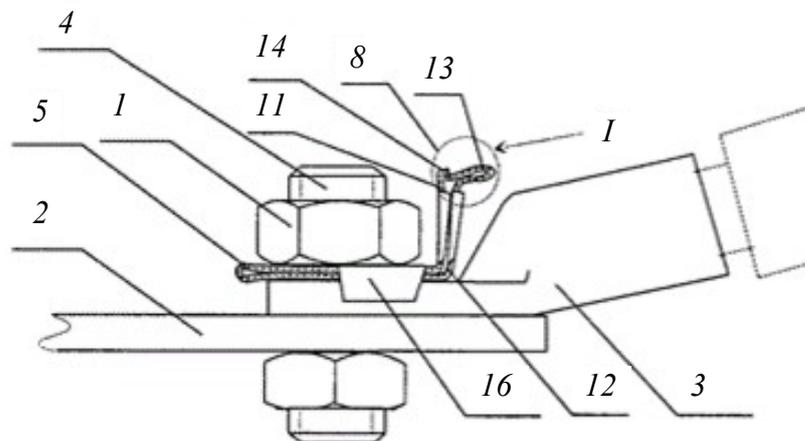


Рис. 6. Устройство контроля затяжки контактных соединений: 1 – гайка; 2 – клемма; 3 – токоведущий наконечник; 4 – шпилька; 5 – биметаллическая пластина; 8 – защелка; 11, 12 – лепестки; 13 – упругий отгиб; 14, 16 – отгибы

Второй аналог в отличие от первого имеет более простую конструкцию и удобен в монтаже, в то время как для первого требуется вывод из эксплуатации РУ, частичный демонтаж шинных. Общий же недостаток обоих изобретений – возможность их применения только для выведенного в ремонт оборудования, либо для вновь вводимого в эксплуатацию или имеющего резервные источники питания РУ.

Подводя итог, следует отметить, что контроль температуры контактных соединений на удаленных объектах – проблема актуальная. Существующие средства измерения и индикации ее решить не могут. Разрабатываемая же система направлена на решение именно этой задачи. Стоит отметить ее достоинства: безопасность для персонала, так как подразумевается выполнение ее из диэлектрических материалов, простота устройства, поэтому для монтажа и эксплуатации не требуется привлечение высококвалифицированных специалистов. Внедрение ее снизит аварийность и простой оборудования за счет своевременного контроля. Кроме того, применение ее не ограничивается только строящимися или вновь вводимыми РУ 0,4 кВ.

Список литературы

1. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: учебное пособие / В.Н. Костин; ред. В.Н. Костин; СЗТУ. – СПб.: СЗТУ, 2004. – С. 153–175.

2. Чигвинцев С.В., Якупова П.И., Федотов Н.А. Датчик температуры контактных соединений распределительных устройств электроснабжения: Сборник материалов научно-технической конференции, посвященной 45-летию кафедры ИИТ ФГБОУ ВО УГАТУ. – Уфа.: УГАТУ, 2017. – С. 90–97.

3. Пат. 2408120 РФ, Н 02 Н5/04 Устройство для контроля температуры контактных соединений / Н.Г. Капля, Е.Н. Капля.

4. Пат. 2527567 РФ, Н 01 R4/30 Устройство регистрации ослабления затяжки гайки резьбового контактного соединения / А.И. Горшков, А.М. Гренчук.

Секция 3

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ В ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА

Председатель

Н.Д. Чичирова – д.х.н., профессор, директор ИТЭ, заведующий кафедрой ТЭС ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Секретарь

А.И. Минибаев – лаборант кафедры ТЭС

УДК 620.92

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л.А. Абзалова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: abzalova.leisan@gmail.com

На сегодняшний день в нашей стране, которая обладает крупными запасами органического топлива, возникла ситуация, где населенные пункты и индивидуальные фермерские хозяйства некоторых отдаленных регионов испытывают проблемы в энергоснабжении. Для таких потребителей целесообразно применение доступных местных энергоресурсов.

В последнее время в качестве дешевого местного энергетического ресурса чаще стали применять сельскохозяйственные отходы, которые дают возможность получать биогаз высокого качества, путем разложения отходов в биореакторах.

Основными элементами биогаза являются: метан (CH_4) – 55–70% и углекислый газ (CO_2) – 28–43%, а также в очень малых количествах другие газы. Биогаз является газообразным продуктом, получаемый в результате анаэробной ферментации различного вида биомасс. Например, в среднем из одной тонны навоза можно получить 25–35 м³ биогаза, содержащего около 60 % метана, который в последующем используется для производства тепловой и электрической энергии.

Вторым немаловажным фактором актуальности биогазовых технологий является то, что они позволяют предотвратить выбросы метана в атмосферу. Известно, что метан способствует развитию парникового эффекта в двадцать один раз сильнее, чем CO_2 , при этом сохраняется в атмосфере около двенадцати лет.

Третьим важным фактором актуальности переработки органической массы в биогаз является возможность использования отходов процесса в качестве органических удобрений, которые широко применяются в сельском хозяйстве.

Таким образом, биотехнологическая переработка сельскохозяйственных отходов позволяет одновременно решать и энергетические, и экологические задачи. С помощью такой переработки сельскохозяйственных отходов снижается применение химических удобрений, соответственно сокращается отрицательная нагрузка на окружающую среду.

УДК 621. 311. 22 (045)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСР РАСХОДА РЕГЕНЕРИРУЕМОЙ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ХИМВОДОПОДГОТОВКИ

М.Г. Бобылев, А.Ю. Демидов¹

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» в г. Смоленске

E-mail: ¹aleksandr-demidov-7@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается автоматическая система регулирования подачи регенерируемой воды в осветлитель и её поддержание на заданном уровне. Приведено описание разработанной функциональной схемы регулирования расхода и модели объекта регулирования. Представлен график переходного процесса изменения расхода регенерируемой воды.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, осветлитель, регулятор расхода, переходной процесс.

К воде, которая используется в паровых котлов и для восполнения потерь в теплосети предъявляются высокие требования, что приводит к усложнению процесса водоподготовки. Для того чтобы облегчить работу персонала, особенно в установках с большим расходом воды, необходимо автоматизировать процессы, происходящие при обработке воды. Это повышает надежность управления установкой, позволяет максимально полезно использовать оборудование, способствует экономии реагентов и снижает затраты на эксплуатацию установки.

Автоматическая система регулирования расхода воды контролирует заданное отношение между регенерируемой водой, поступающей в осветлитель после промывки механических фильтров к количеству сырой воды, идущей на химводоподготовку [1].

В приведенной схеме (рис. 1) объект регулирования – осветлитель, предназначенный для предварительной обработки сырой воды химическим методом осаждения солей в виде шлама. Помимо сырой воды, через клапан / на подготовку поступает вода после отмывки механических фильтров заданной температуры. Обычно, фильтры отмываются осветленной водой, в которую в процессе промывки попадают различные взвешенные частицы, которые способствуют ускорению появления шлама в самом объекте

регулирования. Чтобы не нарушался процесс шламообразования, расход воды после промывки обязан составлять 10–12% от объема сырой воды, направляющейся на подготовку через клапан 2 необходимой температуры. Расходы воды фиксируются измерительными преобразователями расхода [2]. Далее эти расходы сравниваются в приборе для измерения соотношения расходов и на основании полученных соотношений, регулятор расхода регенерируемой воды в осветлитель контролирует заданное отношение, изменяя через исполнительный механизм расход воды, поступающей обратно с промывки фильтров.

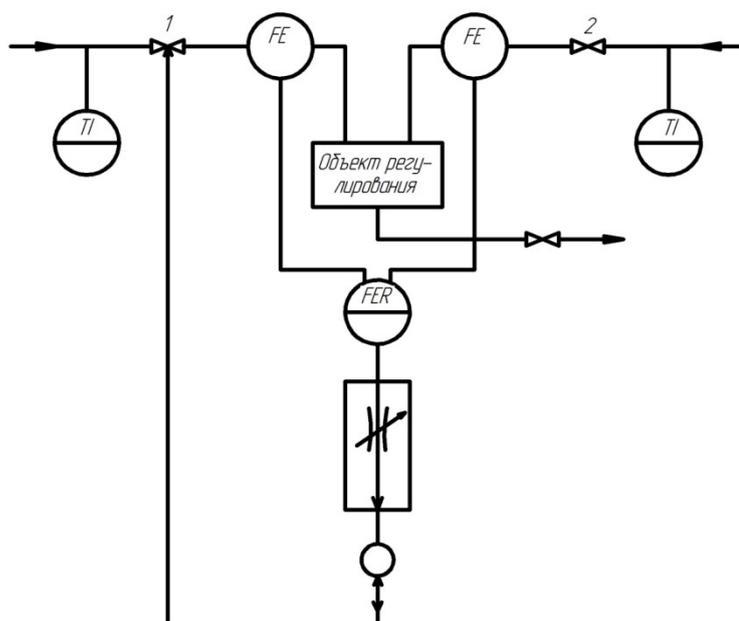


Рис. 1. Функциональная схема регулирования расхода регенерируемой воды к расходу исходной

В системе регулирования применяется исполнительный механизм МЭОБ-63/25-25. В результате идентификации получили передаточную функцию линейной части исполнительного механизма, равную: $W(p) = 63/25p$.

Для создания модели объекта регулирования (рис. 2) и построения переходного процесса использовалось приложение Simulink пакета MATLAB.

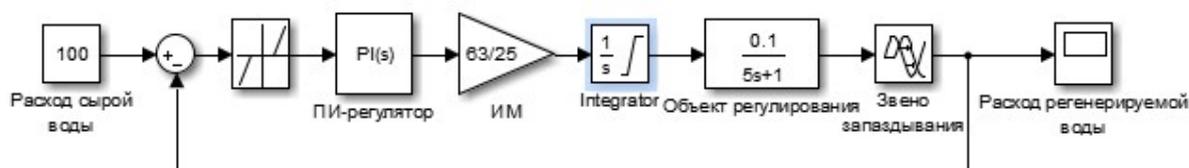


Рис. 2. Модель объекта регулирования

АСР расхода представляет собой одноконтурную систему регулирования. Для обеспечения постоянства расхода регенерируемой воды применяется ПИ-регулятор. Для избегания колебательного процесса применяется регулятор с зоной нечувствительности. Объект регулирования представлен в виде последовательного соединения апериодического звена первого порядка и звена запаздывания. Для получения передаточной функции объекта регулирования была проведена идентификация по заданной временной переходной характеристике (кривой разгона объекта). В результате передаточная функция такого объекта имеет вид:

$$W_0(p) = \frac{0,1}{5p + 1} e^{-\tau p}.$$

Вся система регулирования охвачена жесткой единичной обратной связью [3].

При моделировании работы осветлителя был задан начальный расход сырой воды 100 т/ч. На выходе получили переходной процесс изменения расхода регенерируемой воды (рис. 3). На графике по оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат – расход регенерируемой воды (т/ч).

Из графика переходного процесса видно, что система с течением времени переходит в новое установившееся состояние, которое равно расходу регенерируемой воды 10 т/ч, что соответствует изначально заданному соотношению расходов. В результате моделирования получили переходной процесс со временем регулирования менее 30 с, что является хорошим показателем при изначально заданном 100 т/ч расходе сырой воды.

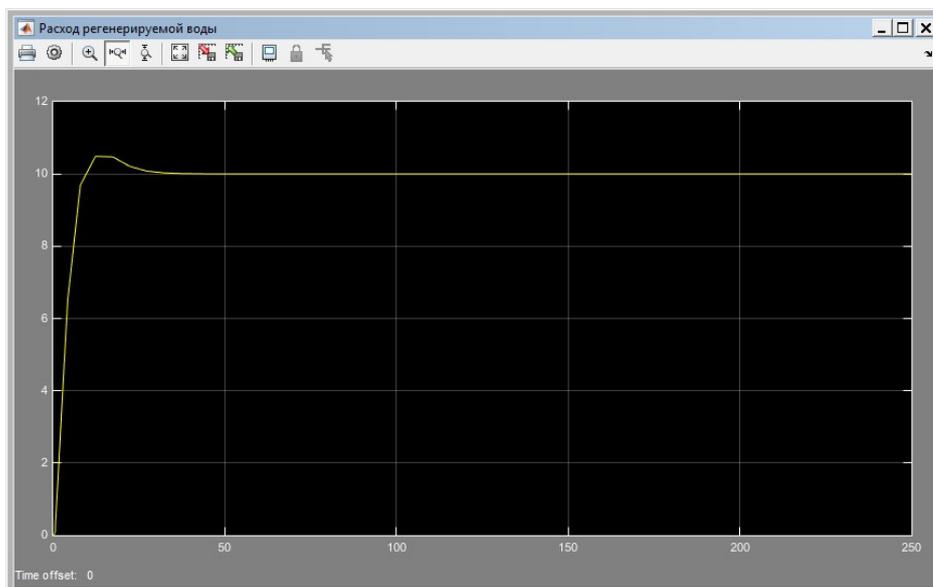


Рис. 3. Изменение расхода регенерируемой воды

Результатом добавления воды после промывки механических фильтров является не только достижение заданного качества воды, но так же экономия реагентов и продление срока службы осветлителя. При этом необходимо поддерживать определенное соотношение между расходом регенерируемой воды и сырой, которое обеспечивает менее нагруженную работу осветлителя, что можно реализовать с помощью представленной в этой работе АСР расхода регенерируемой воды.

Список литературы

1. Липатников Г.А., Гузеев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики: Учебное пособие / ДВПИ им. Куйбышева, 2007.
2. ГОСТ 21.208-2013. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
3. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php>.

УДК 697.3 (045)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО СЕКТОРА

В.А. Галковский¹, О.Н. Прудникова²

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» в г. Смоленске
E-mail: ¹vadim-galkovskiy@mail.ru, ²pruolka@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора способа теплоснабжения жилищно-коммунального сектора. Приведено сравнение централизованного и децентрализованного теплоснабжения жилого района по капитальным затратам.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, водогрейные котельные, блочно-модульные котельные, поквартирное теплоснабжение, прокладка тепловой сети, капитальные затраты.

Эффективность и стабильность работы систем теплоснабжения являются залогом комфорта жизнедеятельности населения и стабильности промышленного производства. Во многих крупных городах 70-95% жилого фонда обеспечено централизованным теплоснабжением. Но к настоящему времени техническое оснащение этих систем сильно устарело, эксплуатация тепловых сетей сопровождается существенными тепловыми потерями. Наряду с источником теплоты и внутренними системами зданий тепловые сети требуют значительных капиталовложений, которые не всегда окупаются.

Это делает для инвесторов более привлекательными системы децентрализованного теплоснабжения. В настоящее время существуют тенденции рассматривать этот способ теплоснабжения в качестве безальтернативного решения, забывая, во-первых, про недостатки децентрализации, а во-вторых, про тот потенциал, которым обладает централизованное теплоснабжение на базе теплофикации.

Централизованное теплоснабжение на базе теплофикации позволило решить вопрос необходимости утилизации тепла при выработке электроэнергии, не только уменьшая тепловое загрязнение окружающей среды, но и повышая суммарный КПД станции.

Многочисленные проблемы современных централизованных систем теплоснабжения привели к тому, что в России ТЭЦ потеряли треть своей прежней ниши на рынке тепла. Предлагается переходить на децентрализованное теплоснабжение, обосновывая это меньшей стоимостью и отсутствием необходимости прокладки теплопроводов.

Децентрализованные системы являются привлекательным решением и для инвесторов, как было сказано ранее, и для потребителей, чьи запросы могут быть удовлетворены высокоэффективными теплогенераторами с использованием энергосберегающих систем автоматического управления.

Для сопоставления различных вариантов теплоснабжения предлагается рассмотреть жилищно-коммунальный сектор с элементами первичного обслуживания, состав которого представлен в табл. 1, план – на рис. 1. С целью определения требуемых капиталовложений для представленного ЖКС определены тепловые нагрузки – тепловые потери жилых зданий через ограждающие конструкции [1] и тепловые мощности на отопление, вентиляцию и ГВС общественных зданий по укрупненным показателям [2].

Таблица 1

Состав ЖКС

Здания		Количество обслуживаемого населения	Размер участка, м ²
наименование	количество		
Жилой дом	12	5000 человек	–
Школа	1	900 учащихся	29700
Детский сад		350 детей	12250
Торговый центр		–	торговая площадь – 1400 территория – 4000

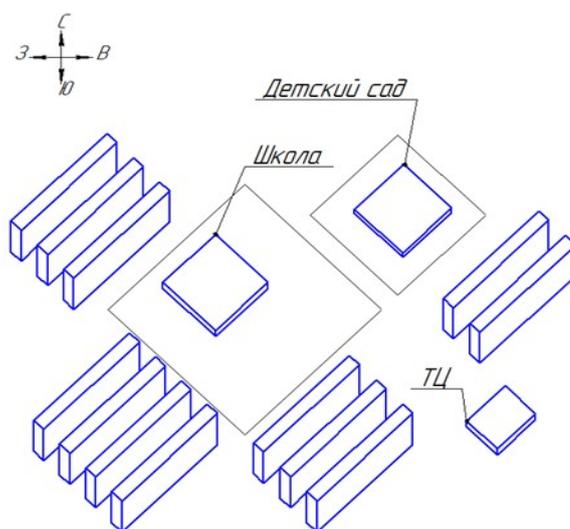


Рис. 1. План района

Тепловые потери через наружные ограждающие конструкции $Q_{\text{огр}}$, Вт, определяются по формуле:

$$Q_{\text{огр}} = n \frac{F}{R_0^{\text{пр}}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}) (1 + \sum \beta), \quad (1)$$

где F – площадь наружной ограждающей конструкции, м^2 ; $R_0^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление наружной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $t_{\text{вн}}$ – расчетная внутренняя температура воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{но}}$ – расчетная температура наружного воздуха для системы отопления, $^\circ\text{C}$; n – безразмерный коэффициент, учитывающий ориентацию наружной ограждающей конструкции в пространстве; $\sum \beta$ – сумма дополнительных тепловых потерь.

Определение тепловой мощности на отопление по укрупненным показателям производится по формуле:

$$Q_{\text{от}} = \alpha q_o V_{\text{зд}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}), \quad (2)$$

где $\alpha = 1 + \mu$ – поправочный коэффициент, учитывающий инфильтрацию холодного воздуха в здании; μ – коэффициент, учитывающий тепловые потери с инфильтрацией (для жилых и общественных зданий $\mu = 0,02 \div 0,06$, для производственных помещений $\mu = 0,25 \div 0,3$); q_o – удельная отопительная характеристика здания. Определяется в зависимости от назначения и объема здания, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $V_{\text{зд}}$ – объем здания по наружному обмеру, м^3 ; $t_{\text{вн}}$ – расчетная внутренняя температура воздуха, которая определяется по назначению здания, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{но}}$ – расчетная температура наружного воздуха для системы отопления, которая определяется в зависимости от географического положения здания, $^\circ\text{C}$.

Определение количества теплоты на вентиляцию потребителей $Q_{\text{вент}}$, Вт, можно проводить по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = q_v V_{\text{зд}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нв}}), \quad (3)$$

где q_v – удельный расход тепла на вентиляцию, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $V_{\text{зд}}$ – объем здания по наружному обмеру, м^3 ; $t_{\text{нв}}$ – расчетная температура наружного воздуха для системы вентиляции, $^\circ\text{C}$.

Среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение $Q_{\text{ГВС}}^{\text{ЖКС}}$, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{ЖКС}} = C_{\text{воды}} \frac{1,2m(a+b)(60-t_{\text{хз}})}{24 \cdot 3600}, \quad (4)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий потери тепла от системы ГВС, расположенной внутри здания; m – количество единиц измерения; a – норма расхода горячей воды на одного человека в жилом здании, зависит от благоустройства жилого здания и определяется из справочной литературы, л; b – норма расхода горячей воды на одну единицу измерения во всех других зданиях, кроме жилых, л; $t_{\text{хз}} = 5^\circ \text{C}$ – расчетная температура холодной воды в зимний период; $C_{\text{воды}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·°C).

Результаты определения тепловых нагрузок ЖКС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов необходимого количества теплоты

Здание	$Q_{\text{от}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{int}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{вент}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ГВС}}, \text{МВт}$	$\sum Q, \text{МВт}$
Жилые:					
всего	3,454	0,098	–	1,920	5,276
на один дом	0,288	0,0082	–	0,160	0,440
Школа	0,266	–	0,040	0,011	0,317
Детский сад	0,194	–	0,039	0,018	0,251
Магазин	0,083	–	–	0,015	0,098

Используя полученные данные, для определения капитальных затрат на строительство тепловой сети для централизованного теплоснабжения был произведен гидравлический расчет с выбором стандартного диаметра для каждого участка. Для определения капитальных затрат на прокладку тепловой сети [3] была построена зависимость затрат от диаметра трубопроводов для бесканальной прокладки в ППУ изоляции (рис. 2). На этом же графике представлена кривая полиномиальной аппроксимации, полученная программными средствами.

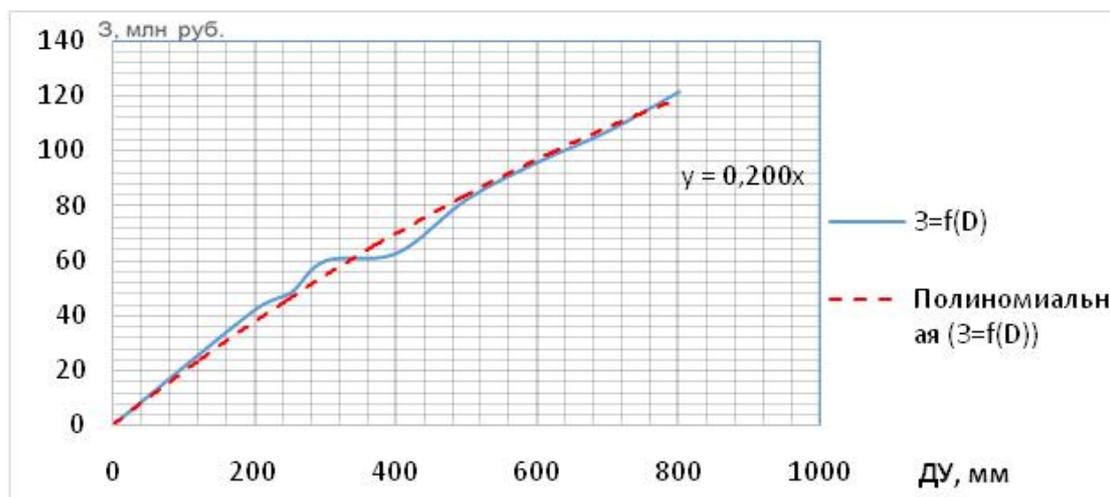


Рис. 2. Зависимость затрат на прокладку тепловых сетей от диаметра трубопроводов

Данная зависимость позволила определить капитальные затраты на прокладку сети с учетом стоимости проектно-изыскательских работ, материалов, устройства объездных дорог и освоения территории для трубопроводов всех определенных ранее диаметров. Итоговые капитальные затраты по этой статье расходов составили 49,699 млн руб.

В результате расчета тепловой схемы водогрейной котельной были определены данные необходимые для дальнейшего выбора основного и вспомогательного оборудования котельной. Стоимость выбранного оборудования, представленного в табл. 3, в сумме составила 3,472 млн руб.

Таблица 3

Затраты на оборудование водогрейной котельной

№	Оборудование	Кол-во, шт.	Цена, руб.
1	Котел газовый 2,2 МВт	4	737000
2	Вакуумный деаэратор ДВ-5	1	134100
3	Сетевой насос К 100-65-200	3	62400
4	Подпиточный насос К 8/18А	4	12300
5	Рециркуляционный насос К 100-65-200	2	62400
6	Насос сырой воды К 8/18А	4	12300
7	Подогреватель сырой воды 05-89-2000	1	13400
8	Охладитель деаэрированной воды 02-57-4000	1	10900
9	Подогреватель ХОВ 07-114-2000	1	17500
Итого, млн руб.			3,472

Проанализировав поквартирные тепловые нагрузки жилых зданий, к установке в каждой квартире были выбраны однотипные двухконтурные газовые настенные котлы с диапазоном мощности до 11 кВт. Покрытие нагрузок общественных зданий в данном случае происходит также от БМК. Итоговая стоимость оборудования – 72,86 млн руб. Как видно из полученных данных, наименее затратным вариантом по капиталовложениям оказался вариант децентрализованного теплоснабжения ЖКС с использованием блочно-модульных котельных – 49,35 млн руб. На втором месте находится водогрейная котельная для теплоснабжения всего района – 53,171 млн руб. Большую часть затрат в этом случае составляют затраты на прокладку тепловых сетей. Наибольшие капиталовложения требуются для поквартирного теплоснабжения жилых зданий – 72,86 млн руб.

По полученным ранее тепловым нагрузкам каждого отдельного здания определены необходимые мощности блочно-модульных котельных для децентрализованного теплоснабжения и их необходимое количество. При этом каждое здание отапливается отдельной котельной, поставляемой производителем со всем необходимым оборудованием, смонтированным в блок в заводских условиях. Итоговая стоимость оборудования для данного способа теплоснабжения составила 49,35 млн руб. (табл. 4).

Таблица 4

Мощность и стоимость блочно-модульных котельных

Здание	Суммарная нагрузка, МВт	Номинальная мощность БМК, МВт	Комплектация БМК	Кол-во, шт.	Цена за шт., руб
Жилой дом	0,444	0,5	табл. 32	12	3415000
Школа	0,317	0,4	табл. 33	1	3290000
Детский сад	0,251	0,3	табл. 34	1	3163000
Магазин	0,098	0,1	табл. 35	1	1912500
Итого, млн руб.					49,35

Данный способ теплоснабжения оказался наименее выгодным с точки зрения капитальных затрат вследствие высокой стоимости индивидуальных котлов и относительного большого требуемого их количества. Наглядно результаты представлены в табл. 5. Следует отметить, что полученные результаты позволяют выявить выгоду того или иного способа теплоснабжения лишь на стадии строительства и монтажа. Для выявления срока окупаемости и минимума приведенных затрат следует обращать внимание на статьи эксплуатационных расходов, включающие в себя, прежде всего, топливо и электроэнергию, ремонт и амортизацию.

Таблица 5

Капитальные затраты на теплоснабжение

Вариант теплоснабжения	Капитальные затраты, млн руб.
Централизованное от водогрейной котельной:	53,171
оборудование	3,472
тепловые сети	49,699
Децентрализованное от БМК	49,35
Децентрализованное от БМК и индивидуальных котлов	72,86

Список литературы

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Введ. 01.07.2013, М.: Минрегион России, 2013. – 95 с.
2. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов по направлению «Теплоэнергетика» / Е.Я. Соколов. – 9-е изд., стер. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 465 с.
3. Новиков И.Б. Особенности прокладки трубопроводов тепловых сетей в России – сегодняшние тенденции в повышении надежности теплоснабжения // Новости теплоснабжения, 2011. – № 6. – С. 42–48.

УДК: 697.343:662.998(045)

ВЫБОР ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Е.Ю. Гришин

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора теплоизоляционного материала для труб при проектировании тепловой водяной сети. Приведено описание гидравлической схемы, и толщины теплоизоляционных материалов для труб разного диаметра при различных способах прокладки трубопровода. Приведен расчет стоимости теплоизоляционных материалов при разных способах прокладки трубопровода.

Ключевые слова: водяная тепловая сеть, теплоизоляция, теплопроводность, трубопровод.

Система прочно соединенных между собой участков теплопроводов, по которым теплота при помощи теплоносителей (пара или горячей воды) перемещается от источников к тепловым потребителям, называется тепловой сетью.

Основные элементы тепловых сетей трубопровод, который состоит из стальных труб. Трубы, соединенные между собой с помощью сварки, изоляционная конструкция, которая предназначена для защиты трубопровода от наружной коррозии и тепловых потерь, и несущая конструкция, воспринимающая вес трубопровода и усилия, которые возникают при его эксплуатации.

Главной задачей при проектировании водяной тепловой сети является определение способа прокладки, точный гидравлический расчет трубопровода и расчет тепловой изоляции. Гидравлический расчет помогает определить необходимые характеристики трубопровода (скорость течения, диаметр и т.д.), расчет тепловой изоляции позволяет выбрать наилучший теплоизоляционный слой, который помогает дольше сохранять тепло теплоносителя и увеличивает срок службы тепловой сети.

При выборе тепловой изоляции необходимо знать способ прокладки трубопровода. Существует два способа прокладки трубопровода: надземный и подземный. Обеспечить надежную работу при минимальных капиталовложениях это главная задача выбора способа прокладки трубопровода. Капитальные затраты состоят из стоимости монтажных работ и материалов. Эксплуатационные затраты включают в себя стоимость обслуживания и содержания трубопровода, а также покрывают потери тепла в трубопроводе.

Более распространенной является подземная прокладка трубопровода. Подземная прокладка делится на канальную и бесканальную. Канальная прокладка обеспечивает надежную защиту от внешних воздействий, коррозии, также канальную прокладку используют для беспрепятственного удлинения труб. При данной прокладке трубопровода требуется более тонкий теплоизоляционный слой. Бесканальная прокладка трубопровода более экономичный способ, по сравнению с канальным, это связано с тем что, пропадает надобность во многих монтажных операциях. При прокладке данным способом требуется более толстый слой тепловой изоляции.

Во время прокладки трубопроводов часто приходится пересекать естественные и искусственные препятствия.

Естественными препятствиями считаются выемки в виде оврагов, ущелий и т. п., а также различные водные преграды: реки, озера, пруды и т. д. Искусственные препятствия, чаще всего это автомобильные и железные дороги с большой интенсивностью движения транспорта, но могут быть и другие препятствия, в таких случаях используют надземную прокладку трубопровода.

При разработке проектов производства работ в местах пересечения трубопроводов с искусственными и естественными препятствиями необходимо учитывать указание СНиП 2.04.02–84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» о том, что прокладка трубопроводов по железнодорожным мостам и путепроводам, пешеходным мостам над путями, в железнодорожных, автодорожных и пешеходных тоннелях, а также в водопропускных трубах не разрешается.

При пересечении препятствий небольшой ширины выполняют надземную прокладку трубопроводов: подвесные трубопроводы; висячие трубопроводы; трубопроводы на опорах; устройство специального моста для прокладки труб; устройство арочных переходов с использованием несущей способности самих труб.

В гидравлической схеме (рис. 1) представлены четырнадцать потребителей, к которым трубопровод проложен разными способами: подземным и надземным, бесканальным и канальным.

Качественная теплоизоляция труб – необходимое условие для того, чтобы предотвратить утечку тепла, избежать появления конденсата и промерзания трубопровода, расположенного за пределами отапливаемого помещения. Основное назначение утеплителя для труб – это снижение теплопотерь. Правильно подобранный и установленный с соблюдением

технологии теплоизоляционный материал способен сократить потери теплоэнергии на 25%. Кроме этого, он служит еще и для решения многих других задач. Теплоизоляция для труб водоснабжения помогает защитить их от промерзания и порывов. В климатических условиях России это особенно актуально. Утепление труб с использованием надежных современных материалов позволяет обеспечивать в любое время года бесперебойное водоснабжение.

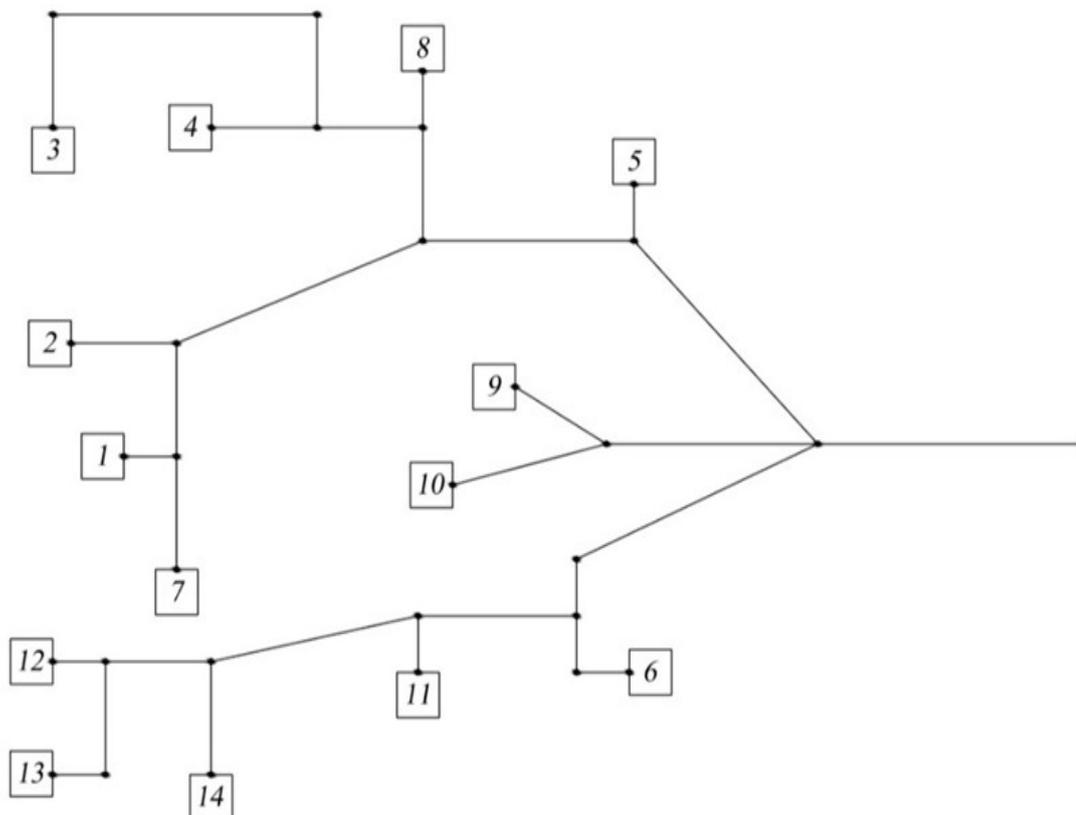


Рис. 1. Гидравлическая схема

На данный момент существует около пяти основных теплоизоляционных материалов трубопроводов, которые применяются в тех или иных условиях. Основными из них являются пенополиуретан, пенополимерминеральная, армопенбетон и минеральная вата. Данные материалы имеют низкий коэффициент теплопроводности, что позволяет передавать теплоноситель на большие расстояния, при маленьких тепловых потерях. В табл. 1 и 2 представлены расчеты толщины теплоизоляционного слоя для труб разного диаметра при различных способах прокладки трубопровода.

Также был проведен сравнительный анализ стоимости теплоизоляционных материалов для труб одного диаметра при канальной и бесканальной прокладке трубопровода. Результаты расчета представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 1

Результаты расчета толщин теплоизоляционных слоев
для выбранных теплоизоляционных материалов при канальной прокладке

d_n , мм	q , Вт/м	k_{12} , мм	$R_{гр}$, (м·К)/Вт	R_{12} , (м·К)/Вт	$R_{из}$, (м·К)/Вт	$\delta_{из}^{ппу}$, мм	$\delta_{из}^{ппм}$, мм	$\delta_{из}^{апб}$, мм
37	26,9	0,32	0,405	0,393	2,39	9	21	23
40	27,3	0,33	0,39	0,376	2,38	9	21	23
62	39,1	0,41	0,36	0,342	2,18	12	28	30
79	44,8	0,45	0,35	0,321	1,95	13	33	35
86	44,7	0,47	0,34	0,307	1,85	13	33	35
87	48,3	0,48	0,34	0,304	1,84	14	34	36

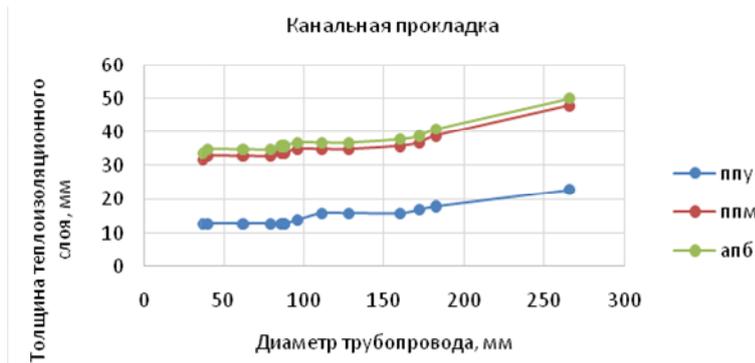


Рис. 3. График зависимости толщины теплоизоляционного слоя от диаметра трубопровода при канальной прокладке

Таблица 2

Результаты расчета толщин теплоизоляционных слоев
для выбранных теплоизоляционных материалов

d_n , мм	q , Вт/м	$\alpha_{л2}$, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{к2}$, Вт/(м ² ·К)	α_2 , Вт/(м ² ·К)	$R_{в}$, (м·К)/Вт	$R_{из}$, (м·К)/Вт	$\delta_{из}^{ппу}$, мм	$\delta_{из}^{ппм}$, мм	$\delta_{из}^{апб}$, мм
37	18,2	8,44	9,96	18,4	0,46	3,46	13	32	34
40	19,8	8,44	9,73	18,17	0,43	3,32	13	32	34
62	29,2	8,44	7,4	15,84	0,32	2,27	13	33	35
79	32,14	8,44	6,9	15,34	0,26	1,92	13	33	35
86	33,7	8,44	6,8	15,24	0,24	1,83	13	34	36
87	33,9	8,44	6,8	15,24	0,24	1,82	13	34	36

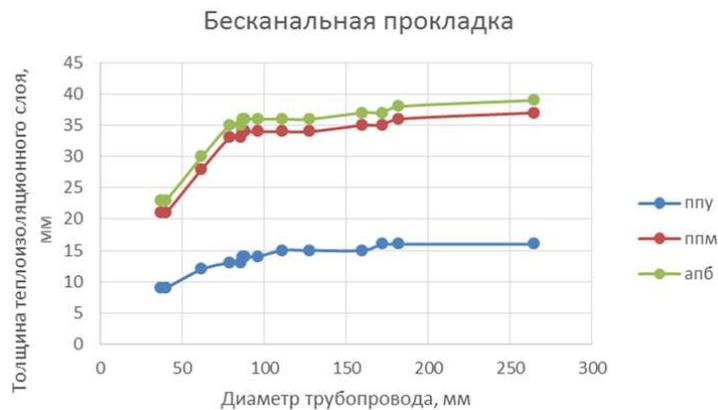


Рис. 2. График зависимости толщины теплоизоляционного слоя от диаметра трубопровода при бесканальной прокладке

Таблица 3

Результаты расчета стоимости теплоизоляционных материалов
(бесканальная прокладка)

$D_{н\text{,}}$ мм	L , м	$\delta_{\text{из}}^{\text{ппу}}$, мм	$\delta_{\text{из}}^{\text{ппм}}$, мм	$\delta_{\text{из}}^{\text{апб}}$, мм	$V_{\text{ппу}}$, м ³	$V_{\text{ппм}}$, м ³	$V_{\text{апб}}$, м ³	$S^{\text{ппу}}$, руб.	$S^{\text{ппм}}$, руб.	$S^{\text{апб}}$, руб.
182	500	16	36	38	4,3	10,26	10,83	3698	9234	6715

Таблица 4

Результаты расчета стоимости теплоизоляционных материалов
(канальная прокладка)

$D_{н\text{,}}$ мм	L , м	$\delta_{\text{из}}^{\text{ппу}}$, мм	$\delta_{\text{из}}^{\text{ппм}}$, мм	$\delta_{\text{из}}^{\text{апб}}$, мм	$V_{\text{ппу}}$, м ³	$V_{\text{ппм}}$, м ³	$V_{\text{апб}}$, м ³	$S^{\text{ппу}}$, руб.	$S^{\text{ппм}}$, руб.	$S^{\text{апб}}$, руб.
182	500	18	39	41	5,13	11,4	12,54	4412	10260	7775

На основании проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

1. Трубы большого диаметра имеют более толстый слой теплоизоляционного материала по сравнению с трубами малого диаметра. Это связано с площадью поверхности трубопровода, чем больше площадь поверхности, тем большее количество теплоты отдает теплоноситель, которое необходимо сохранить.

2. Подземная канальная прокладка лучше защищает трубопровод от коррозии, чем бесканальная. Это позволяет увеличить эксплуатационный срок службы тепловой сети.

3. В результате проведения расчета стоимости различных теплоизоляционных материалов было выявлено, что наиболее дешевым материалом является пенополиуретан с коэффициентом теплопроводности – 0,024 Вт/(м · К), в полтора раза дороже стоит армопенбетон с коэффициентом теплопроводности – 0,05 Вт/(м · К). На основании проведенных расчетов можно сказать, что при передаче теплоносителя на трубах с диаметром больше 200 мм и температурой теплоносителя больше 110 °С, целесообразно использовать более дорогой теплоизоляционный материал, с большим коэффициентом теплопроводности и как следствие более толстым слоем тепловой изоляции.

Список литературы

1. Теплотери здания. : справочное пособие / Е.Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 141 с.
2. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения: монография / Б.В. Яковлев. – М.: Новости теплоснабжения, 2008. – С. 423–442.

3. Источники и системы теплоснабжения / В.Ш. Магадеев . – М.: ИД Энергия, 2013. – С. 262–264.

4. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для ВУЗов по направлению «Теплоэнергетика» / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

УДК 621.039.633

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОДОПОДОГОТОВКИ

А.Н. Долгова¹, А.Р. Арсланов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹dolgova.an@list.ru, ²arslan1978@list.ru

Аннотация. В работе рассматривается вариант использования водорода, полученного в качестве побочного продукта при проведении процесса электролиза хлорида натрия.

Ключевые слова: водородное топливо, водоподготовка.

Перспективным направлением является развитие и поиск альтернативных нетрадиционных источников энергии. В частности одним из таких источников может стать водородное топливо. Этот газ рассматривается как носитель энергии в силу того, что он является возобновляемым, не выделяет «парникового газа» при сжигании, дает большое количество энергии на единицу веса в процессе.

Самым главным достоинством водородного топлива является экологическая безопасность его использования, приемлемость для тепловых двигателей без существенного изменения их конструкции, высокая калорийность, возможность длительного хранения, транспортировки по существующей транспортной сети, нетоксичность и т.д.

Главным источником получения водорода служит вода. Для получения из нее водорода можно воспользоваться способностью многих металлов вытеснять из воды водород с одновременным образованием гидроокисей или окисей взятых металлов. Одним из популярных методов получения водорода из воды в промышленном масштабе является электрохимический метод. Преимуществом этого метода является высокая степень чистоты получаемого водорода (99,6–99,9 % H₂), что исключает необходимость в весьма сложных устройствах для его очистки от примесей. Однако

на получение водорода затрачивается около 85% от стоимости электроэнергии. На сегодняшний день электрохимическим методом получают около 18% мировой продукции водорода.

Данный способ применяется в нескольких странах, которые имеют значительные запасы недорогой гидроэнергии. Крупнейшие электрохимические комплексы располагаются в Индии, Канаде, Норвегии, Египте, но созданы и функционируют множество мелких установок в разных странах мира. Этот способ считается важным еще и потому, что он наиболее универсален относительно применения первичных энергетических источников.

На сегодняшний день многие предприятия водоподготовки РФ переходят на новые способы обеззараживания воды без использования традиционного газообразного хлора. Для этого строят электролизные станции по производству гипохлорита натрия из поваренной соли (г. Санкт-Петербург, г. Казань, г. Набережные Челны, г. Альметьевск и др.).

Таким образом на электролизных станциях предприятиях водоподготовки при электролизе водных растворов хлорида натрия (NaCl) в качестве отходов выделяется водород (H_2) в количестве около 27 кг на 1 л активного хлора. И при производстве гипохлорита натрия возникает проблема его утилизации, так как выброс в атмосферу большого количества водорода, для разбавления которого требуется почти стократный объем воздуха, является примером нерационального использования технологического ресурса. Также следует помнить, что водород, если его смешать с воздухом, образует взрывоопасную смесь, которую называют гремучим газом (две части водорода и одна часть кислорода).

В среднем на крупных предприятиях водоподготовки городов РФ с населением порядка 1 млн. жителей (г. Казань, г. Ростов на Дону и др.) при производстве 1000 кг гипохлорита натрия в сутки отводится водорода 365 тонн в год. При пересчете на электрическую энергию выбрасываемый водород эквивалентен почти 20% электроэнергии, затрачиваемой на электролиз продукта – гипохлорита натрия. Данный продукт можно собирать в специальные емкости и далее использовать его на нужды предприятия для получения электроэнергии, тепла, горячей воды или на продажу.

УДК 621.33 (072)

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ОАО «РЖД»

Д.В. Емельянов, И.П. Васильев¹, А.Е. Rogov

ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», г. Москва

E-mail: ¹xPr1me@mail.ru

Аннотация. В статье освящена деятельность Локомотивного хозяйства ОАО «РЖД» в части реализации основных задач Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года и Экологической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года. Описан ряд технических решений в сфере ресурсосбережения, сокращения выбросов в атмосферу и повышение уровня шумозащищенности населения по средствам применения тепловозов с гибридной силовой установкой.

Ключевые слова: тепловоз, гибрид, маневровый локомотив, гибридная силовая установка.

Одной из актуальных и важных целей ОАО «РЖД», предусмотренных Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, Энергетической стратегией холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года и Экологической стратегией ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года, является минимизация негативного воздействия ОАО «РЖД» на окружающую среду [1, 2, 3]. Не стоит забывать и о том, что правительством Российской Федерации 2017 год обозначен «Годом экологии».

Реализация стратегий ОАО «РЖД»

В рамках реализации вышеуказанных стратегий решаются следующие задачи:

– в сфере ресурсосбережения: повышение энергетической эффективности в дизельной тяге до 10 % исходя из Энергетической стратегии до 2030 года [1, 3];

– в сфере охраны атмосферного воздуха: снижение выбросов вредных веществ в атмосферу от передвижных источников и повышение экологических требований к подвижному составу, топливу, транспортной инфраструктуре [1, 2];

– в сфере защиты от шума: снижение уровня шумового воздействия на окружающую среду, в первую очередь, в черте населенных пунктов [1, 2];

– ОАО «РЖД» совместно с научными институтами, заводами-изготовителями локомотивов и поставщиками комплектующего оборудования осуществляет поиск путей и методов, разработку новых систем и подвижного состава, например:

В сфере ресурсосбережения, а именно повышения энергетической эффективности тягового подвижного состава, ОАО «РЖД» сегодня реализуется ряд технических решений, а именно:

- испытания локомотивов с поосным регулированием силы тяги и независимым возбуждения тяговых электродвигателей;
- оптимизации алгоритмов управления в части максимального использования тяговых свойств локомотива на границе сцепления колеса и рельса;
- реализации алгоритмов интеллектуальной системы управления путем выбора оптимально необходимого количества ТЭД на тягу поездов в зависимости от условий эксплуатации и веса поезда;
- разработка локомотивов на гибридной тяге.

В сферах защиты от шума и охраны атмосферного воздуха в части снижения выбросов вредных веществ в атмосферу в городской черте прорабатываются вопросы применения маневровых аккумуляторных локомотивов или маневровых локомотивов с гибридной силовой установкой.

Гибридные локомотивы, обладающие повышенными эргономическими и экологическими качествами, являются не только наиболее эффективным решением вышеуказанных задач особенно для крупных мегаполисов страны, но и способствуют повышению имиджа компании ОАО «РЖД» и ее привлекательности, как потенциального работодателя для населения.

Мировой опыт создания гибридных маневровых тепловозов

На сегодняшний день Российскими машиностроителями разработаны и испытаны опытные образцы гибридных локомотивов:

- маневровый тепловоз ТЭМ35 с электрическими накопителями в виде суперконденсаторов, увеличивающих мощность тепловоза при их включении, тем самым увеличивая общий КПД тепловоза. Данная модель имеет ряд вопросов к работе накопителей энергии, к тому же данная схема работы гибридного локомотива имеет высокую степень саморазряда, что может быть эффективным, например, при горочной работе.

- маневровый тепловоз ТЭМ9Н, принцип работы которого основан на комбинировании источников энергии, а именно дизеля и аккумуляторных батарей. В штатном режиме тяговые двигатели получают энергию от накопителя. При снижении заряда накопителя подзарядка производится от дизель-генераторной установки. При опытной эксплуатации были выявлены недостатки системы преобразования энергии и до настоящего времени проводится доработка системы.

В качестве опыта зарубежных машиностроителей были рассмотрены, например гибридный маневровый тепловоз производства ALSTOM работающий на заводе Audi в Ингольштадте (на юге Германии). Согласно официальному пресс-релизу, тепловоз способен выбрасывать в атмосферу на 60 тонн меньше оксида углерода, чем обыкновенный локомотив. Гибридный тепловоз способен работать на аккумуляторных батареях около 2 часов. Также во время движения он может использовать дизельный двигатель [4].

Также в Японии существует гибридный маневровый тепловоз HD-300 производства TOSHIBA работающий практически по аналогичной схеме, с дополнительной возможностью рекуперации энергии на накопители [5].

Разработка концептуальной модели тепловоза маневрового с гибридной силовой установкой

На сегодняшний день с учетом зарубежного опыта работы гибридных маневровых тепловозов и недостатков опытных образцов ТЭМ-35 и ТЭМ9Н Проектно-конструкторским бюро локомотивного хозяйства – филиалом ОАО «РЖД» разработаны технические требования к маневровым тепловозам с гибридной силовой установкой, в которых представлена концепция локомотива предназначенного для выполнения маневрово-вывозной работы на вокзалах городов-мегаполисов страны преимущественно с пассажирскими вагонами.

Тепловоз по концепции Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «РЖД» будет состоять из литий-ионных накопителей (далее ЛАН) и дизель-генераторной установки мощностью не менее 300 кВт предназначенной при необходимости для подпитки ЛАН и работы на тягу в аварийных режимах.

Блок ЛАН должен состоять из двух модулей:

- буферный модуль ЛАН который подвергается зарядке от ДГУ или внешних источников питания, разрядка производится на вспомогательные нужды и тяговый модуль ЛАН;

- тяговый модуль ЛАН в котором разрядка в штатном режиме производится только на реализацию силы тяги локомотива, подзарядка в штатном режиме производится от буферного модуля.

Также локомотив будет оборудован:

- токоприемником с возможностью подзарядки буферного модуля ЛАН и передачей мощности на тяговый модуль ЛАН;

- трехфазной розеткой для зарядки ЛАН от внешнего стационарного источника, при реализации концепции с целью сокращению времени заряда модулей накопителей можно оборудовать каждый модуль своим выводом для внешнего источника с целью сокращения времени заряда.

На гибридном тепловозе данного типа будет предусмотрена система Battery Management System – система, обеспечивающая мониторинг, балансировку и защиту от критического разряда элементов накопителя, также исходя из климатических условий предусмотрена система термостабилизации которая будет обеспечивать поддержание оптимальной температуры элементов накопителей.

Решение стратегических задач по средствам применения гибридных маневровых тепловозов

Применение гибридного маневрового локомотива в городах-мегаполисах позволит решить обозначенные стратегические задачи, а в частности проблему шумозащищенности населения.

Как следует из доклада Департамента охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля от июля 2017 года [7], за последние пять лет количество претензий от населения по причине повышенной шумности выросло почти в 7 раз. Наиболее негативная ситуация складывается на полигонах Московской и Октябрьской ж.д., также существенный рост претензий наблюдается на полигонах Дальневосточной и Свердловской ж.д.

При этом основной объем жалоб – 75% приходится на шум от подвижного состава, 16% – на громкоговорящую связь, 4% – на работу сортировочных горок [7].

Мероприятия в виде постройки шумозащитных экранов не являются панацеей данной проблемы. Соответственно применение гибридных тепловозов может значительно поспособствовать снижению шумности от подвижного состава, кроме того строительство 10–15 км шумозащитных экранов сопоставимо со стоимостью тепловоза с гибридной силовой установкой.

Также Проектно-конструкторским бюро локомотивного хозяйства – филиалом ОАО «РЖД», согласно официальной системы информационного хранилища «Локомотивный парк», был произведен расчет стоимости расхода дизельного топлива за 9 месяцев 2017 года, маневровыми локомотивами работающими в Москве и Санкт-Петербурге. Затраты на дизельное топливо в Москве составили 34,482 млн. рублей, а для Санкт-Петербурга 40,947 млн. рублей. Учитывая, что электроэнергия, в данном случае как основной и альтернативный энергоресурс, применяемый на гибридном маневровом локомотиве, значительно дешевле дизельного топлива, можно рассчитывать на экономическую выгоду. Если учитывать экономическую выгоду в 30% [6] заявленную для ТЭМ9Н, то предполагаемое сокращение расходов составит 22,629 млн. рублей на два мегаполиса.

Дополнительно стоит отметить, что хотя на данный момент к ОАО «РЖД» не применяется жестких штрафных санкций в части вредных выбросов тепловозами, но, тем не менее, при ужесточении законодательства в части экологичности транспортных средств, данная проблема также может возникнуть.

Развитие концептуальной модели тепловоза маневрового с гибридной силовой установкой

В рамках развития проекта «цифровая железная дорога» в Проектно-конструкторском бюро локомотивного хозяйства – филиале ОАО «РЖД» существует еще один перспективный концептуальный проект, в основе которого лежит вышеизложенный проект гибридного тепловоза. Данный проект рассчитан как следующий этап развития уже существующего проекта маневрового тепловоза серии ТЭМ7А с внедренной системой автоматического управления горочным локомотивом (САУ ГЛ). Тепловозы данного типа эксплуатируются на станции Лужская работая по системе «Без машиниста» управление производится оператором с пульта управления, один оператор может управлять тремя локомотивами одновременно. На данный момент система еще находится в стадии доработки, и машинисты пока присутствуют в кабинах с целью контроля за работой локомотива.

Концептуальный проект ПКБ ЦТ предполагает в рамках развития системы «Без машиниста» заменить маневровый тепловоз серии ТЭМ7А на гибридный тепловоз. Источником энергии, питающим аппаратуру и тяговые двигатели, также будет ЛАН, состоящая из 20 модулей, его подзарядка осуществляется от ДГУ и внешнего источника при стоянке локомотива, токоприемник и кабина машиниста будут исключены из конструкции. В дальнейшем возможен отказ и от ДГУ при условии проработки варианта беспроводной зарядки расположенной вдоль оси пути, при дальнейшем развитии проекта, с целью снижения непроизводительных потерь.

Заключение

Реализация и развитие гибридных маневровых тепловозов в городах-мегаполисах позволит улучшить экологическую обстановку, повысить шумозащищенность населения и сократить затраты на энергетические ресурсы.

Кроме того, будет повышен имидж компании на мировом уровне, так как развитие инновационных проектов всегда с интересом встречается партнерами по рынку внутри страны и за рубежом, что в свою очередь повлечет повышение инвестиционной привлекательности компании ОАО «РЖД».

Список литературы

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. [Электронный ресурс] // Url: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396 (Дата публикации 16.04.2014).
2. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года. [Электронный ресурс] // Url: <http://doc.rzd.ru/> (Дата публикации 25.05.2014).
3. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2537р. – 76 стр.
4. Пресс-релиз Audi-info. [Электронный ресурс] <https://www.drive2.ru/c/2457142/> (Дата публикации 01.11.2015).
5. Пресс-релиз TOSHIBA Leading Innovation [Электронный ресурс] <http://www.toshiba.co.jp/sis/railwaysystem/en/products/locomotive/hybrid.htm> (Дата публикации 01.04.2011).
6. Информация с официального сайта АО «Синара Транспортные Машины». URL: <https://sinaratm.ru/products/teplovozy/tem9h-sinarahybrid/>
7. Доклад Заместителя начальника Департамента охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля Э.А. Рябухина на секции Научно-технического совета по вопросу «Снижение негативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта» (Дата проведения 18.07.2017 г.).

УДК 330; 338; 659; 658

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О.В. Еременко

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге
E-mail: overemenko71@mail.ru

Аннотация. В настоящее время предприятия топливно-энергетического комплекса России оказались в сложных условиях дестабилизации обстановки на мировом рынке углеводородного сырья, негативно отразившейся на показателях эффективности деятельности. Актуальность в этих условиях приобрели вопросы энерго- и ресурсосбережения, решить которые можно, в том числе, внедрением автоматизации объектов энергопотребления. В статье рассмотрены подобные инновационные решения на примере объектов Оренбургского нефтегазохимического комплекса.

Ключевые слова: инновации в энергосбережении, автоматизация технологических процессов нефтегазодобычи.

Оренбургский нефтегазохимический комплекс (ОНГХК) долгое время играл важную роль в удовлетворении нужд советской, а затем и российской экономики энергоносителями. Даже, несмотря на переход к завершающей стадии разработки месторождения, он и сегодня остается ключевым объектом Единой системы газоснабжения в связи с развитой перерабатывающей и транспортной инфраструктурой, близостью с основными потребителями [3]. Поэтому продление полного жизненного цикла и наращивание эффективности эксплуатации комплекса является актуальным. Реализация такого подхода связана, прежде всего, с расширением инновационной деятельности в сфере энерго- и ресурсосбережения [5] при условии, что на фоне падения расход ТЭР должен сокращаться более быстрыми темпами [1]. Однако, применение мероприятий программы энергосбережения пока не дает желаемых результатов. Более того, в связи со значительным износом оборудования возросло число аварий (рис.1), что подтверждает необходимость активизации усилий по разработке инноваций, принципиально меняющих ситуацию [2].

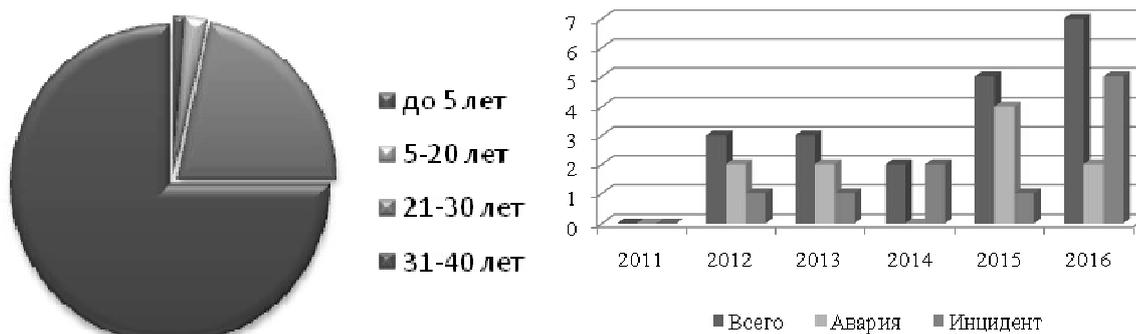


Рис. 1. Сроки эксплуатации и нарушения в работе электрооборудования ООО «Газпром добыча Оренбург»

В этой связи предлагается мероприятие, впервые используемое в рамках ОНГХК. Это установка частотных регуляторов марки MP003A50 Automation Drive на электродвигателях насосов 374P07A на технологических установках 1, 2, 3 У370 взамен шарнирной роликовой цепи в комплекте с цепным диском вариатора [4]. Это позволит уменьшить расход электроэнергии для электродвигателей и сократить затраты на ремонт насосного оборудования. ЧДД, образующийся за счет этих эффектов составит 54,8 млн. руб. за 10 лет, а срок окупаемости – 0,3 года.

Таким образом, учитывая, что российская нефтегазодобыча является энергоемким производством, отстающим от мирового уровня по степени технологичности и автоматизации, совершенствование механизма энергоменеджмента в направлении инновационного развития следует считать одним из стратегических источников роста конкурентоспособности и прибыльности этого сектора газового бизнеса России.

Список литературы

1. Еременко О.В. Приоритеты инновационного развития и особенности оценки эффективности проектов в газоперерабатывающих и газохимических производствах: учебное пособие. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 171 с.
2. Еременко О.В. Организационно-экономический механизм реализации инноваций в рамках энергоменеджмента газоперерабатывающего завода. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 2017. – № 4(98). – С. 14–24.
3. Еременко О.В. Макроэкономические аспекты необходимости перехода к инновационно-ориентированной модели управления нефтегазовым комплексом России в условиях формирования глобального газового рынка // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, 2017. – № 4 (ч. 3). – С. 73–77.
4. Обзор передового отечественного и зарубежного опыта в области энергосбережения повышения энергетической эффективности: сборник материалов. – М.: МИСИС, 2014. – 158 с.
5. Повышение энергоэффективности, как драйвер роста и инструмент модернизации экономики России / Материалы II Межд. форума «Энергоэффективность и энергосбережение». – [Электронный ресурс]. URL: http://enesexpo.com/docs/prezentatsii_dlya_programmy/21112014/Minenergopdf.

УДК 330; 338; 659; 658

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ВЕРХНЕГО СИЛОВОГО ПРИВОДА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

О.В. Еременко¹, А.С. Новикова²

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге

E-mail: ¹overemenko71@mail.ru, ²anbelosnegka@mail.ru

Аннотация. Несмотря на ухудшение конъюнктуры мирового рынка энергоносителей, в России наблюдается устойчивый рост объема буровых работ. В условиях невозможности увеличения количества буровых станков, буровики столкнулись с проблемой выполнения заказов недропользователей. С целью ее решения, буровые предприятия предприняли попытки поиска технических нововведений, увеличивающих производительность станков. Одной из таких инноваций является модернизация верхнего силового привода буровой установки, эффективность которой рассматривается в статье на примере Оренбургского филиала ООО «РН-Бурение».

Ключевые слова: инновации в строительстве скважин, модернизация силового привода.

В последнее время в работе Оренбургского филиала ООО «РН-Бурение» наблюдается значительное уменьшение фондоотдачи, что говорит о необходимости внедрения новых технологий, увеличивающих показатели эффективности бурения при условии сокращения затрат на эксплуатацию бурового станка [2]. Эти технологии может осуществляться по целому ряду направлений, а именно: привязка и установка верхнего силового привода; перевод стационарных буровых станков на кустовое бурение; замена несущих металлоконструкций; выполнение требований безопасности процесса бурения; замена очистного оборудования; изменение привода бурового оборудования; замена укрытий; установка систем сбора стоков; механизация установки превентора и т. д. Среди целей инноваций и модернизации стоит выделить также и рост уровня надежности оборудования.

Наиболее привлекательным представляется внедрение системы верхнего привода (СВП) американской компании «Varco» TDS 11A (грузоподъемностью 500 тонн) на буровых установках ZJ 50/70 [4].

Сравнение технических характеристик при бурении ротором и СВП

Наименование	Значения		Изменения, %
	при бурении ротором	при бурении с СВП	
Грузоподъемность, т.	450	500	+11,11
Скорость вращения, об/мин.	30–120	0–228	+90,00
Крутящий момент, КН·м.	45	75	+66,67
Суточная ставка работы бурового станка, руб.	640676	554948	–15,45

В результате его использования грузоподъемность увеличивается на 11,11%, скорость вращения – на 90%, а крутящий момент – на 66,67%. Образующаяся экономия времени в процессе наращивания труб свечей (трехтрубной) позволяет снизить суточную ставку станка на 15,45%. Уменьшается вероятность прихватов бурового инструмента за счет проведения промывки скважины в любой момент. СВП позволяет также подавать свечу бурильных труб к люльке верхового рабочего, в результате чего облегчается труд и снижается риск травматизма. При отборе керна верхний силовой привод позволяет не наращиваться в процессе бурения двадцати восьми метров, и, соответственно, повышает вынос керна материала.

В целом, спектр внедряемых инноваций по повышению эффективности использования основных фондов внушительен и даже неблагоприятное окружение не снижает заинтересованность в них. Несмотря на тяжелую ситуацию в отрасли в ведущих компаниях не сомневаются в единственно верно выбранном векторе инновационного развития.

Список литературы

1. Буренина И.В., Эрмиш С.В. Применение объектно-целевого подхода к эффективному развитию нефтесервисной отрасли // Интернет-журнал «Науковедение», 2015. – №3 (Т. 7). – С. 15–17.
2. Еременко О.В. Эффективность развития ресурсного потенциала нефтегазодобывающего предприятия инновационным методом интеллектуальных скважинных систем. // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2012. – № 2. – С. 24–27.
3. Еременко О.В. Приоритеты инновационного развития российского рынка нефтесервисных услуг // «Экономика и управление: проблемы и решения», 2017. – № 7. – С. 12–19.
4. Новикова А.С., Еременко О.В. Инновационные подходы в формировании комплекса мероприятий по ресурсосбережению в нефтегазовых компаниях. // «Экологическая ответственность нефтегазовых предприятий»: сборник трудов. – М.-Оренбург: ООО «Амирит», 2017. – С. 214–218.
5. Buckley P.J. Analysis of entry strategies drilling of wells // Journal of International Business Studies, 2008. – № 29 (3). – P. 539–561.

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.В. Ермолаева

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
E-mail: dvakota1968@mai.ru

Аннотация. Представлены разработки компании GOOGLE, направленные на развитие энергетики.

Ключевые слова: Google, геотермальная энергетика, фотосъемки, программа Google Earth

В последнее время мировая индустрия всё чаще стала обращаться к новинкам и достижениям науки в сфере космических технологий. Широкое внедрение спутниковой навигации, использование методов создания цифрового моделирования местности, создание автоматизированных банков данных состояния наиболее важных промышленных объектов. Всё это положительно влияет и на развитие энергетической отрасли в нашей стране.

До недавнего времени основным средством привязки к местности промышленных объектов была аэрофотосъемка. К недостаткам полученных фотоснимков относится большая погрешность масштабирования участка местности, сложность обработки информации со снимков, большое количество снимков из-за малой высоты фотографирования.

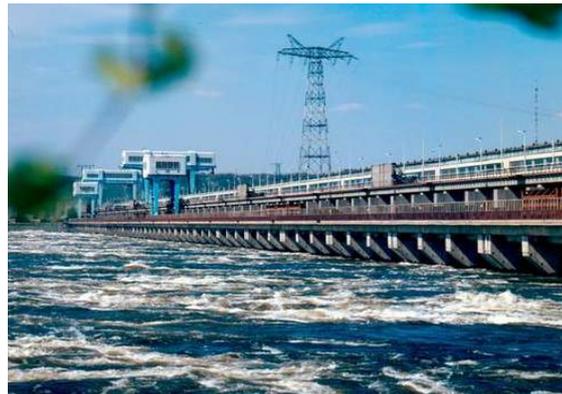
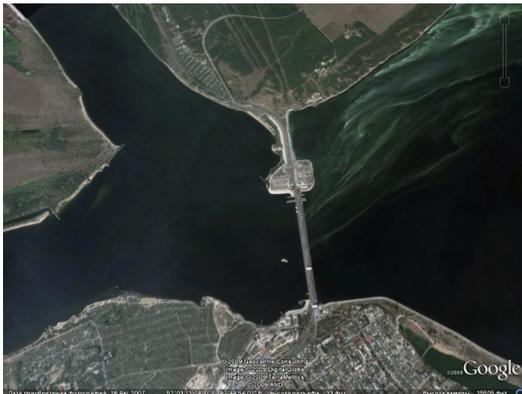
Возможность вести фотографическую съемку из космоса дала науке новый толчок в проектировании сложнейших объектов энергетики. Теперь, благодаря уникальной базе данных фотографий земной поверхности из космоса «поисковая система GOOGLE», проектировщики могут моделировать на компьютере рельеф местности.



Фотография из космоса Балаковская АЭС ($52^{\circ}5'27.63''\text{С.Ш.}$, $47^{\circ}57'19.76''\text{В.Д.}$)

<http://maps.google.com/?ll=52.09303,47.95454&spn=0.03802,0.068235&t=h&z=14>

<http://www.panoramio.com/photo/30847320>



Фотография из космоса Саратовская ГЭС ($52^{\circ}3'13.64''\text{С.Ш.}$ $47^{\circ}45'13.04''\text{В.Д.}$)

<http://maps.google.com/?ll=52.04979,47.74808&spn=0.038057,0.068235&t=h&z=14>

<http://www.panoramio.com/photo/1318129>



Балтийская АЭС ($59^{\circ}21'17.09''\text{С.Ш.}$ $28^{\circ}7'11.24''\text{В.Д.}$)

<http://maps.google.com/?ll=59.3544,28.12491&spn=0.031544,0.068235&t=h&z=14>

<http://www.panoramio.com/photo/2950966>



Курская АЭС (51°40'29.80"С.Ш. 35°36'20.08"В.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=51.67702,35.6086&spn=0.076748,0.136471&t=h&z=13>

<http://www.panoramio.com/photo/20989121>

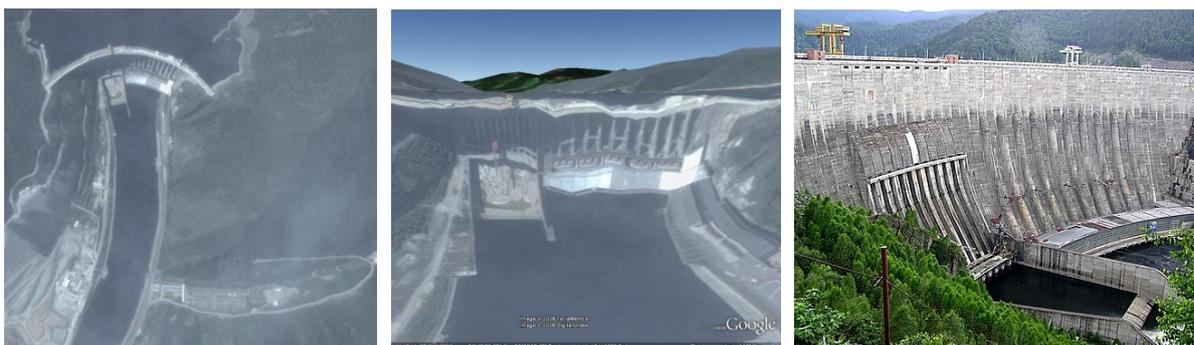
Для создания электростанции это немаловажно. А специалисты с помощью имеющейся поисковой системы могут отслеживать визуально состояние магистралей трубопроводов.



Красноярская ГЭС (55°56'3.50"С.Ш. 92°17'40.09"В.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=55.94508,92.28819&spn=0.069308,0.136471&t=h&z=13>

<http://www.panoramio.com/photo/1447750>



Саянская ГЭС (52°49'31.26"С.Ш. 91°22'16.86"В.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=52.82822,91.3767&spn=0.037391,0.068235&t=h&z=14>

<http://www.panoramio.com/photo/2163914>

Компания GOOGLE вкладывает большие средства в развитие энергетики, например, предыдущие инвестиции были предоставлены компаниям, работающим в области использования солнечной энергии и занимающиеся высоко-широтными ветряными энергетическим установками. На данный момент GOOGLE планирует вложить деньги в развитие геотермальной энергетики.

Также привлекаются и другие возможности GOOGLE EARTH: с помощью дополнительной программы SketchUp имеется возможность предварительно моделировать архитектурные сооружения энергетических установок прямо на местности. Как пример выступает фотография модели Чернобыльской атомной станции.



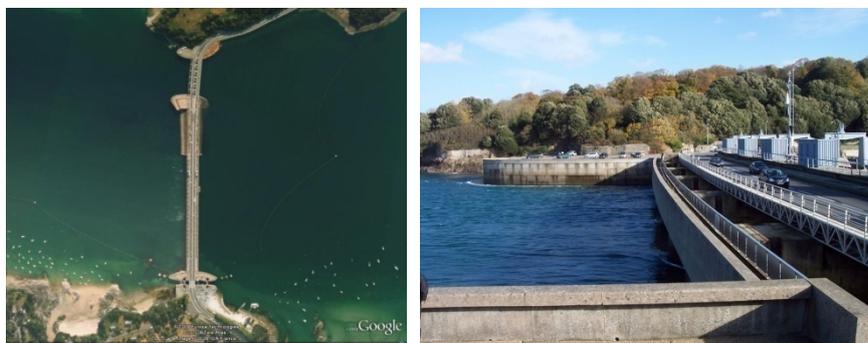
Чернобыльская АЭС (51°23'21.94"С.Ш. 30°5'59.03"В.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=51.39024,30.10233&spn=0.038616,0.068235&t=h&z=14>
<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/details?mid=757a0a7c7362dd7b19687857be042137&ct=3dbl&hl=ru> (просмотр возможен в программе «Google Планета Земля», или в браузере через Google-аккаунт)



Солнечная ЭС в Крыму (45°24'9.39"С.Ш. 35°51'48.92"В.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=45.40261,35.86359&spn=0.010862,0.017059&t=h&z=16>
<http://www.panoramio.com/photo/10379298>



Самая большая приливная электростанция Ля Ранс (Франция)
 (48°37'5.57"С.Ш. 2°1'23.04"З.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=48.61733,-2.02379&spn=0.020455,0.034118&t=h&z=15>
<http://www.panoramio.com/photo/21270169>



Самая большая ГЭС Итайпу
на границе Бразилии и Парагвая
(25°24'29.90"Ю.Ш. 54°35'21.22"З.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=-25.4115,-54.58951&spn=0.027948,0.034118&t=h&z=15>



Ветряная ЭС Tehachapi Pass Wind Farm
(Калифорния)
(37°43'59.86"С.Ш. 121°39'8.78"З.Д.)

<http://maps.google.com/?ll=37.73326,-121.6521&spn=0.012236,0.017059&t=h&z=16>

Вся информация, поступающая для пользователей, систематизирована в удобном виде, а программа легка в обращении.

УДК 536.24

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ МАЗУТА В КАНАЛАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Р.Ф. Камалов¹, Ю.В. Караева², В.О. Здор³

КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: ¹rustemran@mail.ru, ²julieenergy@list.ru, ³zdor_victoria@mail.ru

Получены результаты численных исследований распределения температурных и гидродинамических характеристик в мазутоподогревателях с помощью лицензионного программного комплекса Comsol Multiphysics. Результаты численных исследований конвективного теплообмена получены на примере мазута марки М 100. Исследования выполнены с использованием периодической дискретно-шероховатой поверхности при различных расходах мазута и граничных условиях I рода на стенках канала [1]. Получены зависимости критерия Нуссельта и коэффициентов гидравлического сопротивления от чисел Рейнольдса.

Численные исследования проводились с при следующих условиях: объемный расход жидкости через канал равен $G = 0,4 \div 2,0$ м³/ч, диаметр канала $D = 0,05$ м, длина канала $l = 2$ м, температура на стенке равна $T_{ст} = 373$ К, начальная температура жидкости $T_0 = 303$ К. Геометрические размеры канала: диаметр $D = 0,05$ м, длина $l = 2$ м, отношения шага между

выступами к диаметру $S/D = 0,75; 1,0; 1,25$ и $1,5$, отношение ширины выступа к диаметру $b/D = 0,1$, отношение высоты выступа к диаметру $h/D = 0,1$.

На рис. 1 представлены зависимости отношений чисел Нуссельта от чисел Рейнольдса $Nu_{\text{ДШК}}/Nu_{\text{гл}} = f(Re)$ для исследуемых каналов. Для ДШК 1 получаем наибольшие значения отношений чисел Нуссельта. С увеличением шага между выступами интенсификация теплообмена несколько понижается. Для ДШК 3 и ДШК 4 нет существенного отличия в отношениях чисел Нуссельта при различных расходах, а дальнейшее увеличение шага между интенсификаторами теплообмена является не целесообразным.

Зависимости отношений коэффициентов гидравлического сопротивления ξ от чисел Рейнольдса $\xi_{\text{ДШК}}/\xi_{\text{гл}} = f(Re)$ представлены на рис. 2. Минимальное отношение коэффициентов гидравлического сопротивления к гладкому каналу имеет ДШК 4 с наименьшим количеством интенсификаторов теплообмена. А далее сопротивление растет с увеличением количества интенсификаторов теплообмена.

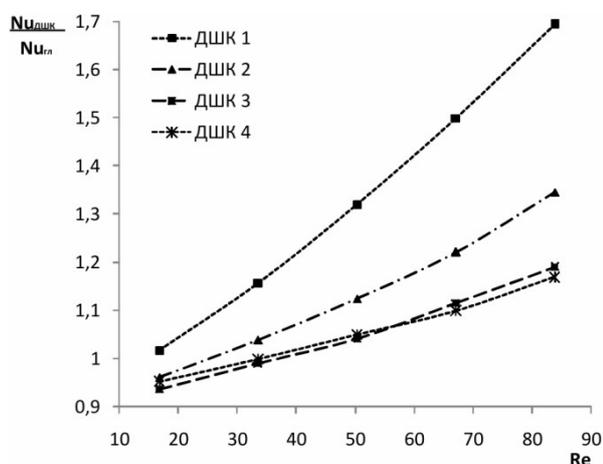


Рис. 1. Зависимости отношений чисел Нуссельта от чисел Re для ДШК и гладкого канала

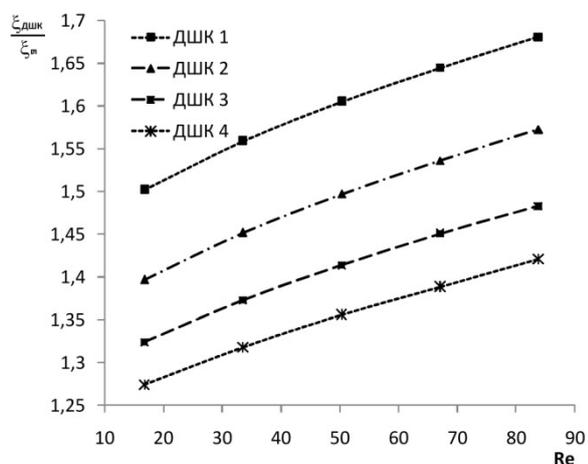


Рис. 2. Зависимости отношений коэффициентов гидравлического сопротивления от чисел Re для ДШК и гладкого канала

Получены результаты по исследованию теплообмена при течении мазута в интенсифицированных каналах. Результаты показывают увеличение теплообмена до 1,7 раз в ДШК 1 по сравнению с гладким каналом. Увеличение гидравлического сопротивления в этом же канале достигает от 1,5 до 1,67 раза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160816.

Список литературы

1 Камалов Р.Ф., Ермолаев Д.В. Устройство для интенсификации теплообмена // Патент на полезную модель № 158757 от 18.12.2015 г.

УДК 536.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МАЗУТОПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ МАЗУТА М100

Р.Ф. Камалов¹, В.О. Здор², Д.В. Ермолаев³

КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: ¹rustemran@mail.ru, ²zdor_victoria@mail.ru, ³energoed@mail.ru

Получены результаты численных исследований распределения температурных и гидродинамических характеристик в мазутоподогревателях с помощью лицензионного программного комплекса Comsol Multiphysics. Результаты численных исследований конвективного теплообмена получены на примере мазута марки М 100. Исследования выполнены с использованием периодической дискретно-шероховатой поверхности при различных расходах мазута и граничных условиях I рода на стенках канала [1]. Получены зависимости критерия теплогидродинамической эффективности от чисел Рейнольдса, которые позволяют определить эффективность интенсифицированных каналов мазутоподогревателей.

Численные исследования проводились с при следующих условиях: объемный расход жидкости через канал равен $G = 0,4 - 2,0$ м³/ч, диаметр канала $D = 0,05$ м, длина канала $l = 2$ м, температура на стенке равна $T_{ст} = 373$ К, начальная температура жидкости $T_0 = 303$ К. Геометрические размеры канала: диаметр $D = 0,05$ м, длина $l = 2$ м, отношения шага между выступами к диаметру $S/D = 0,75; 1,0; 1,25$ и $1,5$, отношение ширины выступа к диаметру $b/D = 0,1$, отношение высоты выступа к диаметру $h/D = 0,1$.

Для сопоставления полной теплогидродинамической эффективности, различных по конструктивному исполнению интенсификаторов теплообмена, часто целесообразным является применение известного отношения характеризующего относительное увеличение интенсивности теплообмена в трубе с интенсификаторами на единицу дополнительно затраченной энергии на прокачку теплоносителя (рис. 1).

$$\frac{Nu_{дшк}/Nu_{гл}}{\xi_{дшк}/\xi_{гл}} = f(Re).$$

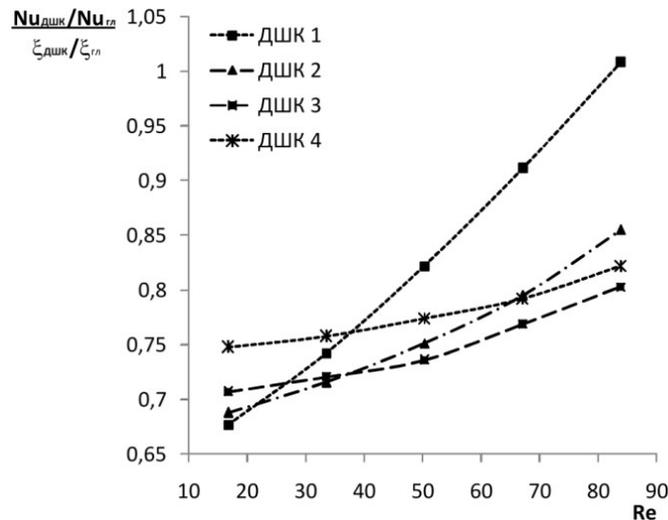


Рис. 1. Зависимости критерия теплогидродинамической эффективности от чисел Re для ДШК и гладкого канала

Наиболее оптимальным вариантом, из рассмотренных интенсификаторов теплообмена, представляется ДШК 1. Однако и он только при максимальном расходе показывает критерий теплогидродинамической эффективности больше единицы. Это указывает на то, что потери энергии на прокачку мазута превышают ожидаемую эффективность увеличения теплообмена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160816.

Список литературы

1. Камалов Р.Ф., Ермолаев Д.В. Устройство для интенсификации теплообмена // Патент на полезную модель № 158757 от 18.12.2015 г.

УДК 697.3

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

А.И. Каштанов¹, Л.В. Фетисов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹kashtanov_a.i@mail.ru, ²leonidfetisov@mail.ru

Аннотация. В любом помещении все элементы системы теплоснабжения соединяются между собой трубопроводом. Он может иметь вертикальную или горизонтальную разводку. В первом случае основной лежак проходит в подвале. Во втором случае основной горизонтальной разводки является подающий стояк, проходящий через все этажи. К стояку подключаются лежаки, подающие тепло в отдельные помещения. Важное преимущество такой схемы заключается в возможности установки индивидуальных приборов учета потребленной тепловой энергии (теплосчетчик).

Ключевые слова: теплосчетчик, теплоснабжение, система.

В большинстве отечественных многоквартирных домов при создании системы отопления используется вертикальная стояковая разводка, которая препятствует монтажу одного квартирного счетчика. В такой ситуации есть только одно решение – поставить счетчики на радиаторы отопления, но подобное решение реализовать сложно по следующим причинам:

1. Установка нескольких теплосчетчиков в одной квартире обойдется ее владельцам в крупную сумму, в связи с его большой стоимостью.

2. Снятие показаний с каждого прибора затрудняется тем, что сотрудники коммунальных служб не в состоянии ежемесячно производить обход всех комнат по квартирам дома, чтобы зафиксировать данные. При выполнении этой работы самостоятельно, можно запутаться в цифрах и допустить ошибки в расчетах.

3. Наличие проблем с обслуживанием – несколько приборов гораздо труднее контролировать и проверять правильность их функционирования.

4. Теплосчетчик на радиатор отопления имеет плохую точность, поскольку перепад у него на входе и выходе настолько небольшой, что прибор часто не в состоянии его зафиксировать.

Первым методом учета тепловой энергии является теоретический расчет необходимого количества тепла. Он заключается в следующем:

$$Q = Q_{\text{от}} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{вн}},$$

где Q – необходимое количество тепла; $Q_{\text{от}}$ – тепловые нагрузки отопления; $Q_{\text{в}}$ – тепловые нагрузки приточной вентиляции; $Q_{\text{вн}}$ – тепловыделения внутренних источников.

$$Q_{\text{от}} = q_{\text{от}}V(t_{\text{в}} - t_{\text{но}}), \quad Q_{\text{в}} = q_{\text{в}}V(t_{\text{в}} - t_{\text{нв}}).$$

где $q_{\text{от}}$ и $q_{\text{в}}$ – удельные тепловые характеристики зданий для отопления и вентиляции соответственно. Они выбираются по справочным материалам, а не по конкретному типу материалов здания, что приводит к большим погрешностям.

Вторым методом учета тепловой энергии является установка общедомового теплосчетчика. Такой прибор применяется для фиксации тепла, которое поступает непосредственно в многоэтажный дом. Общедомовые приборы учета значительно повышают ответственность каждого жильца за сохранность тепла в доме. Это способствует уменьшению таких неприятных повреждений общего имущества, как разбитое окно или сломанная дверь в подъезде. Но общедомовые приборы учета имеют и определенные недостатки. Расчет производится потребляемого тепла за месяц, зафиксированный прибором учета, делят на общую площадь отапливаемых жилых и нежилых помещений, а затем умножается на общую площадь помещения, занимаемого собственником. Соответственно, жители каждой квартиры платят не только за то тепло, которое было использовано для теплоснабжения их квартиры.

Третьим методом учета тепловой энергии является комбинированное использование общедомовых приборов учета и индивидуальных теплосчетчиков. Преимуществом этого метода заключается в том, что индивидуальные теплосчетчики показывают расход тепла на обогрев жилых помещений. А разница между общедомовым прибором учета и индивидуальными теплосчетчиками распределяется между собственниками, в соответствии с площадью помещения.

Таким образом, самым эффективным способом учета потребляемой тепловой энергии является третий метод.

Список литературы

1. Фролов Ю.М. Основы электроснабжения [Электронный ресурс] / Ю.М. Фролов. – М.: Лань, 2012. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>

2. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 (ред. от 09.09.2017) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (вместе с «Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов»).

3. Постановление Правительства РФ от 23 мая 2006 г. N 306 «Об утверждении Правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг и нормативов потребления коммунальных ресурсов в целях содержания общего имущества в многоквартирном доме» (с изменениями и дополнениями).

4. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

УДК 681.51

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Т.М. Левина

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

E-mail: tattin76@mail.ru

Аннотация. В статье представлены важные задачи развития ТЭК. Старение инфраструктуры электроэнергетической отрасли представляет существенную проблему, поскольку из-за окончания срока службы оборудования требуется увеличенный объем техобслуживания, и в тоже время отсутствует совместимость между более новыми технологиями и старым парком установленного оборудования. Рассмотрено применение высокочувствительных измерительных систем электрического тока и магнитного поля в ТЭК.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, волоконная оптика, электрический ток, магнитное поле.

От современного состояния работы топливно-энергетического комплекса (ТЭК) зависит развитие не только экономического положения Российской Федерации (РФ), но и условия жизни населения. Соответственно, важными задачами этапа развития ТЭК следует считать рост электрооборудования, производства, сферы услуг, надежное и недорогое снабжение потребителей необходимыми энергетическими ресурсами. А также обеспечение энергетической безопасности страны и всех субъектов РФ [1].

Вместе с тем следует совершенствовать производство энергии, т. е. производить требуемое количество энергоносителей не только с наименьшими энергетическими потерями, но и с эффективными затратами на единицу производства энергии, включая ее экологическую стоимость [2]. Повышение эффективности производства и потребления энергии должно базироваться на адекватных методах организации и управления энергетическим сектором. Одним из современных методов является применение технологии SmartGrid [3]. Обладая такими преимуществами как:

1. Надежность и качество электроснабжения. Используя технологию SmartGrid можно предотвратить массовое отключение электроэнергии.

2. Безопасность. SmartGrid ведет непрерывный во времени контроль всех элементов сети по безопасности и эффективности.

3. Энергоэффективность. Технология позволяет снизить потребление электрической энергии, что в свою очередь приводит к оптимальному потреблению генерирующих мощностях.

4. Экология и охрана окружающей среды [4]. Это достигается за счет снижения количества и мощностей генерирующих элементов сети. Это ведет, например, к снижению выброса CO в атмосферу.

5. Финансовые преимущества. Снижение операционных затрат [5].

Применяя новые технологии для традиционного производства энергии не приведет к улучшению ситуации в ТЭК. Старение инфраструктуры электроэнергетической отрасли представляет существенную проблему, поскольку из-за окончания срока службы оборудования требуется увеличенный объем техобслуживания, и в тоже время отсутствует совместимость между более новыми технологиями и старым парком установленного оборудования [6–9].

Уровень развития волоконной оптики позволяет создать высокочувствительные измерительные системы, основанные на магнитооптическом эффекте Фарадея.

Далее рассмотрим устройство контроля электрического тока и магнитного поля (рис. 1), основанное на эффекте Фарадея [10].

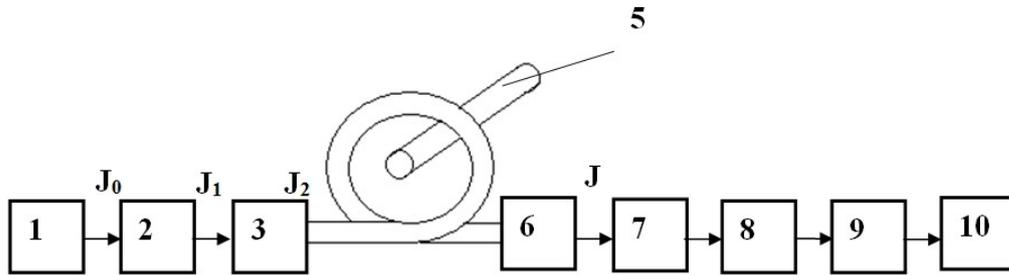


Рис. 1. Информационно-измерительное устройство контроля электрического тока и магнитного поля

Устройство содержит источник оптического излучения 1 в виде лазера или лазерного диода. Последовательно с ним соединяют поляризатор 2, оптическое волокно 5, обладающее линейным двойным лучепреломлением и свернутое в катушку. Внутри катушки 3 расположен проводник 4 с измеряемым током I . Анализатор 5 оптически связан с фотоприемником 6 в виде фотодиода. Последний электрически соединен с усилителем 7, выход которого подключен к микроконтроллеру 8, содержащий блок обработки информации.

Рассмотрим использование оптического волокна в устройстве интеллектуального преобразователя магнитного поля и электрического тока (рис. 2) [11].

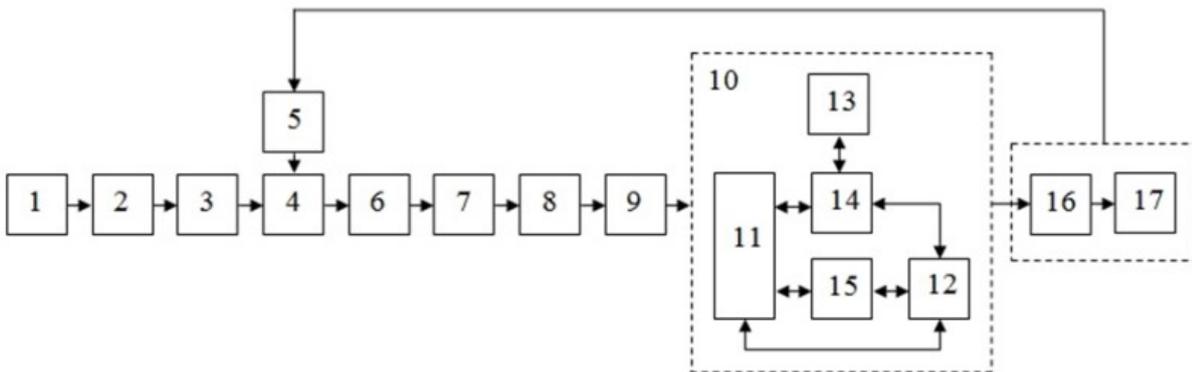


Рис. 2. Интеллектуальный преобразователь магнитного поля и электрического тока

Устройство содержит последовательно соединенные источник оптического излучения в виде лазера или лазерного диода, поляризатор, оптическое волокно, свернутое в катушку, анализатор и фотоприемник. На оптическое волокно воздействует проводник с током. Фотоприемник оптического излучения состоит из фотодиода, который связан с усилителем и аналого-цифровым преобразователем (АЦП). АЦП состоит из нейронного датчика и управляющего устройства, регулирующего ток изолированного с жидкокристаллическим индикатором.

Ниже (рис. 3) приведена структурная схема устройства контроля электрического тока, температуры и давления [12].

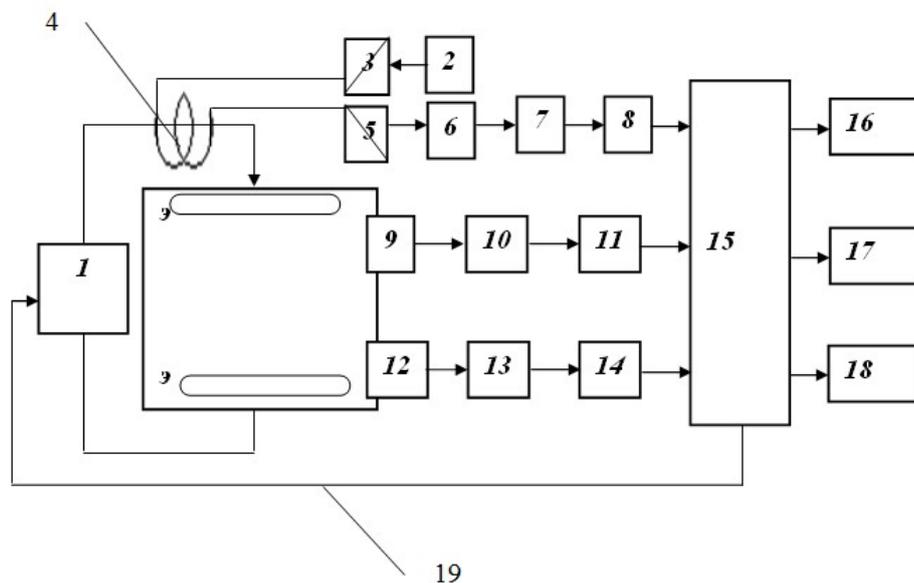


Рис. 3. Устройство контроля электрического тока, температуры и давления

Волоконно-оптическое устройство контроля электрического тока, температуры и давления содержит последовательно соединенные регулируемый источник питания, лазерный диод, поляризатор, оптическое волокно, анализатор, фотодиод, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, чувствительный элемент, контролирующий температуру, чувствительный элемент, контролирующий давление, усилитель, электронно-вычислительная машина, жидкокристаллический индикатор, устройство ввода данных на печать, устройство вывода данных, линия, передающая управляющий сигнал.

Таким образом, применение высокочувствительных измерительных систем на магнитооптическом эффекте Фарадея в современных технологиях позволит повысить эффективность ТЭК и перейти на управление комплексом в сфере цифровых технологий.

Список литературы

1. Оберт Т.Б. Влияние топливно-энергетического комплекса на конкурентоспособность экономики России / Т.Б. Оберт., Д.Ф. Синдюков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право. – 2014. – Т. 14, вып. 3. – С. 564–569.

2. Лунева Н.Н. Программный инструмент для принятия управленческих решений / Н.Н. Лунева, Т.М. Левина // Вестник экономики и менеджмента, 2016. – № 3. – С. 31–36.

3. Левина Т.М. Методы управления искровзрывобезопасными датчиками на ЭЛОУ. / Т.М. Левина, Ф.Ф. Шамаев // Материалы Международной научно-методической конференции. Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО УГНТУ Филиал УГНТУ в г. Салавате. Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – фундамент подготовки специалистов будущего. – 2012. – С. 323–325.

4. Филиппов В.Н. Экологический аспект нефтепереработки и нефтехимии Башкортостана / В.Н. Филиппов, Р.Н. Хлесткин // Башкирский химический журнал, 2004. – Т. 11. – № 5. – С. 52–54.

5. Филиппов В.Н. Подход к решению экологических проблем предприятий ТЭК Республики Башкортостан / В.Н. Филиппов, Р.Г. Шарафиев, А.Ф. Нуриев, И.Р. Киреев // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: материалы международной научно-практической конференции, 2013. – С. 346–347.

6. Филиппов В.Н. Повышение безопасности производства путем применения сетевых интеллектуальных систем / В.Н. Филиппов, Р.Г. Шарафиев, А.Р. Агишев, И.Р. Киреев, И.Р. Барахнина // Информационные технологии. Проблемы и решения, 2017. – № 1(4). – С. 109–118.

7. Филиппов В.Н. Нефтепереработка и нефтехимия Башкортостана в экологическом разрезе / В.Н. Филиппов, Р.Н. Хлесткин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2005. – № 2. – С. 22.

8. Левина Т.М. Построение математической модели информационно-измерительной системы контроля электрического тока и магнитного поля / Т.М. Левина, В.Н. Филиппов, Р.Т. Насырова // Кибернетика и программирование, 2016. – № 1. – С. 292–309.

9. Urakseev M. Mathematical modeling of the fiber-optic converter on the magneto-optical faraday effect / M. Urakseev, T. Levina, V. Filippov, Y.I. Daradkeh // International Journal of Open Information Technologies, 2017. – Т. 5. – № 9. – С. 53–56.

10. Левина Т.М. Информационно-измерительная система с волоконно-оптическим преобразователем магнитного поля // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Астраханский государственный университет, 2010. – Уфа.

11. Левина Т.М., Ураксеев М.А., Баширов М.Г. Волоконно-оптическое устройство контроля электрического тока, температуры и давления / Патент на изобретение RU 127480 15.11.2012.

12. Левина Т.М., Шамаев Ф.Ф. Интеллектуальный преобразователь магнитного поля и электрического тока / Патент на изобретение RU 136190 23.07.2013.

УДК: 621.181 (045)

АНАЛИЗ МОДУЛЬНОЙ ПРОВОЙ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

С.А. Лондонов, Т.С. Любова

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аннотация. В статье рассмотрены особенности эксплуатации модульных котельных. Приведены результаты расчета водогрейной модульной котельной для температурного графика 95/70. Приведена методика расчета теплотехнических и технико-экономических параметров котлов и оборудования модульных котельных

Ключевые слова: водогрейная котельная, паровая котельная, модульная котельная, расход.

В связи с кризисом намечается тенденция уменьшения предприятий и уменьшение нагрева получившегося производственного пара от теплоэлектроцентралей. При этом режим транспортировки пара все больше уходит от расчетного, что приводит к увеличению затрат на транспортировку и потери при транспортировке. Эти факторы в свою очередь приводят к желанию предприятий ТЭЦ к увеличению тарифов, но это в свою очередь уменьшает рентабельность предприятий почти до нуля. Таким образом возникает необходимость в установке для предприятий производителей паровых котельных или генераторов пара.

Главное назначение паровой модульной котельной является выполнение производственных нужд промышленных предприятий, ОВ и ГВС. Перегретый и насыщенный пар производимый паровой модульной котельной применяется для обработки бетона, металла, так же он необходим в деревообрабатывающей, табачной промышленности и т.д. Использованный (отработанный) пар применяется для ОВ и ГВС этих же предприятий. Из-за этого устанавливаются дополнительные теплообменники, которые реализуют бесперебойную подачу тепла и горячей воды. Для этого устанавливаются дополнительные теплообменники, что позволяет осуществлять бесперебойную подачу тепла и горячей воды. Из плюсов паровой модульной котельной можно выделить ее автономность, компактность, возможность работы сразу после установки, «мобильность», реализация проекта по индивидуальному заказу, выполнения всех процессов работы в автоматическом режиме.

Конструкция

Паровая модульная котельная включает в себя следующие системы:

1. Здание котельной.
2. Паровой котел с блочной горелкой.
3. Насосная система.

4. Система трубопроводов.
5. Система водоподготовки
6. Система топливоподачи.
7. Система КИП и автоматики.

Комплектацию котельной могут составлять одного и более модулей, объединенных в один блок. Все комплектующие устанавливаются на заводе. В зависимости от числа модулей паропроизводительность паровой модульной котельной варьируется от 1 до 40 т/ч.

Здание

Здание котельной выполнено в виде рамной металлической конструкции, изготовленную из прямоугольных труб соединенных между собой сваркой. Стандартные размеры таких конструкций 3×3×6 м, 3×3×9 м, 3×3×11,5 м, но габариты модуля также могут соответствовать пожеланиям заказчика. Модуль обшивается сэндвич-панелями, состоящими из трех слоев металлических листов. Между этими листами прокладывается негорючая и утепляющая минеральная вата. Панели навесные, поэтому легко демонтируются и устанавливаются на самонарезные болты с шайбами.

Котел

В основном модульная паровая котельная оснащается паровыми котлами КП котлами серии Е или Ем, производительностью от 1 до 12,5 т/ч. От водогрейных котлов паровой котел отличается наличием барабана заполненный наполовину. Вторая половина – это паровое пространство, где находится пар. Из парового пространства пар поступает к потребителю. По нижнему патрубку барабан подпитывается водой. Из-за этого паровая модульная котельная оснащена баком запаса воды увеличенного размера.

Водоподготовка

Паровая модульная котельная имеет качественную систему водоподготовки, так как это важная составляющая для работы котла и трубопроводной системы. Блочные автоматизированные установки непрерывного действия производят предварительную химическую очистку. Для снижения жесткости воды, она поступает в установку умягчения. Установка состоит из натрий-катионного фильтра и бака-солеобразователя. Весь процесс водоподготовки реализованном в автоматизированном режиме.

Эксплуатация больших котельных, построенных в СССР для крупных заводов и предприятий, стали в наше время не рентабельны. Старое оборудование, дорогое обслуживание, изношенность системы требует

больших вложений, из-за чего надежность теплоснабжения падает. Небольшие котельные пришли им на смену, которые имеют малый срок окупаемости и наиболее дешевую себестоимость отпускаемой теплоты.

Небольшие котельные применяют для теплоснабжения, как производственных, так и жилых помещений. Широкий диапазон мощности котельной позволяет применять на различных объектах таких, как детские сады и целые микрорайоны. Режим работы малых котельной не требует участия большого количества персонала, так как современные котельные автоматизированы и управлять котельной можно с помощью компьютера [1].

Постоянный операторский контроль не требуется, так как модульная котельная оснащена сигнализацией для контроля внештатных ситуаций.

В автоматическом режиме работает все оборудование котельной: на пульте управления устанавливаются датчики, контролирующие температуру помещения.

Котельная данного вида может быть смонтирована на абсолютно любой ровной поверхности и быстро подключена к действующей системе отопления.

Модульные котельные обширно применяются для постоянного подключения и даже для временного.

Быстрый ввод в эксплуатацию модульной котельной, а также малая себестоимость являются главными отличительными особенностями.

Блочномодульные установки требуют минимальных пусконаладочных и монтажных работ. По требованию заказчика проводится точная оптимизация всех режимов работы, а также выбор подходящего оборудования, что позволяет уменьшить стоимость всей БМК. Дополнительно происходит увеличение КПД до 93% [2].

В настоящее время централизованная система отопления в связи с уменьшением количества предприятий, работает в нерасчитаном режиме, который характеризуется большими потерями энергии, ухудшениями работы. Это приводит к относительной потере энергии, что за собой тянет снижение требуемых параметров пара.

Поставщики идут на вынужденное увеличение тарифов, что делает не выгодным использование такого пара. И что влечет за собой необходимость установки водогрейных котельных на предприятии.

Целью проведенного исследования являлась оценка возможности и эффективности применения модульной водогрейной котельной для теплоснабжения микрорайона, расположенного в городе Смоленске.

Тепловая нагрузка и ТВС микрорайона общей площадью 241800 м², которая по результатам расчета теплопотерь с учетом современных требований к ограждающим конструкциям по величине термического сопротивления теплопередаче составила 5,4 МВт. Было произведено сравнение и анализ основных характеристик котельной в трех режимах В максимально зимнем режиме в режиме наиболее холодного месяца и в точке излома температурного графика.

Принципиальная схема рассчитываемой модульной водогрейной котельной представлена на рис. 1.

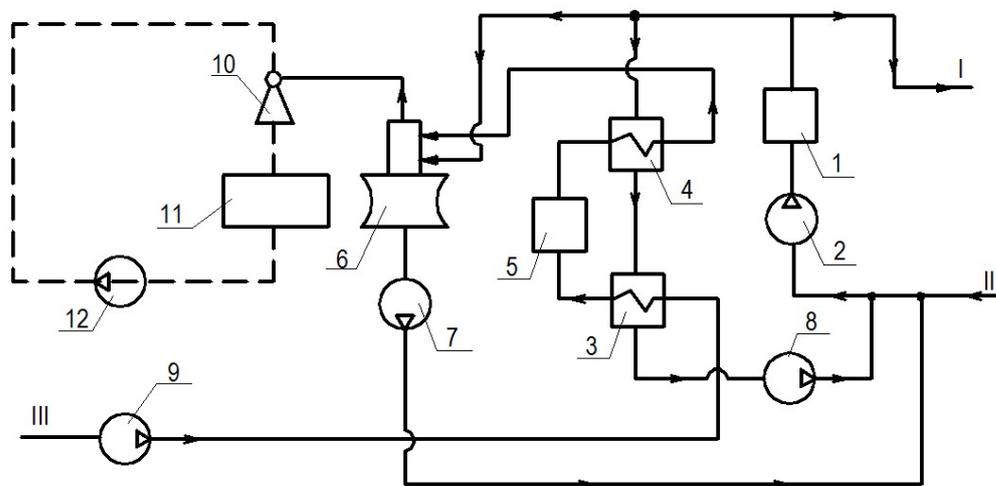


Рис. 1. Принципиальная схема модульной водогрейной модульной котельной

По результатам расчета получено, что расход сетевой воды в точке излома температурного графика выше на 20% расхода воды в режиме наиболее холодного месяца и на 26% выше, чем расход воды в максимально зимнем режиме. Расход подпиточной воды на восполнение утечек сетевой воды зимой и летом в точке излома температурного графика выше на 19% расхода подпиточной воды в режиме наиболее холодного месяца и на 25% выше, чем расход подпиточной воды в максимально зимнем режиме. Расход обратной сетевой воды зимой и летом в точке излома температурного графика выше на 20% расхода сетевой воды в режиме наиболее холодного месяца и на 27% выше, чем расход сетевой воды в максимально зимнем режиме.

Таким образом, по результатам исследования было установлено, что использование рассчитанной модульной водогрейной котельной для отопления микрорайона, при климатических условиях города Смоленска, возможно. Производительности котельной хватает для покрытия всех тепловых нагрузок потребителей.

Методика расчета теплотехнических и технико-экономических параметров котлов и оборудования модульных котельных

Выполняется расчет расхода природного газа, потребляемого котельной, с помощью обратного теплового баланса:

$$q_2 = 6,016 - 0,0203t_{yx} + 0,000195t_{yx}^2; \quad (1)$$

$$q_5 = 2,45 \exp(-0,11Q_k); \quad (2)$$

$$q_3 = 0,5 - 1\%; \quad (3)$$

$$q_4 = 0; \quad (4)$$

$$\eta_k^{op} = 100 - \sum_{i=2}^5 q_i; \quad (5)$$

$$B_p = \frac{nQ_k}{Q_H^c \left(100 - \sum_{i=2}^5 q_i \right)}, \quad (6)$$

где Q_k – теплопроизводительность котла, включая собственные нужды; n – количество котлов в котельной.

Следом за тепловым балансом проводится оценка применимости теплоутилизаторов в проектируемой котельной:

$$H_{дтр} \geq \frac{\Delta h_k + \Delta h_{ты}}{\left(2,46 + 0,412 \ln \frac{V_{H_2O}}{V_2} \right) \frac{(273 + t_{yx})}{273}}; \quad (7)$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + V^0 [0,0016 \cdot \alpha \cdot (d_b - 10) + 0,0161 \cdot (\alpha - 1)]; \quad (8)$$

$$V_r = \frac{Q_k}{B_p C_{p_r} (t_a - t_{yx})} = \frac{Q_k}{B_p (J_a - J_{yx})}. \quad (9)$$

Экономическая эффективность модульных котельных оценивается при помощи сопоставления приведенных затрат – эксплуатационных и капитальных – с базовым вариантом.

В качестве базового варианта принимается вариант с существующими встроенными, квартальными или ведомственными котельными, подлежащими монтажу и замене на автономные котельные, которые снабжали теплом потребителей.

Расчетная зависимость имеет вид:

$$\Theta = \frac{[\Delta\alpha \cdot Q_{\text{год}} - (U + E\Delta K)]}{a^n}, \quad (10)$$

где $\Delta\alpha$ – снижение себестоимости вырабатываемой тепловой энергии по сравнению с базовым вариантом, р/Гкал; U – эксплуатационные годовые затраты блочных котельных; ΔK – капитальные дополнительные затраты по отношению к базовому варианту, р.; E – нормативный (или расчетный) коэффициент окупаемости:

$$E = 1/\tau_{\text{ок}}. \quad (11)$$

Так как срок окупаемости внедрения новых модульных котельных не зависит от нормы дисконта, то окончательно получаем:

$$\tau_{\text{ок}} \geq \frac{\Delta K}{\Delta a Q_{\text{год}} - \Delta U_{\text{доп}}}. \quad (12)$$

Таким образом, рентабельность модульных котельных, становится положительной (минимальной) уже при:

$$\tau_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\Delta a Q_{\text{год}} - \Delta U_{\text{доп}}}. \quad (13)$$

Расчет потребления топлива выполняется по формуле (6) с учетом (1) – (5). Годовой расход топлива котельными рассчитывался с учетом годового расхода топлива и времени работы котельных в году, определяемого по формуле:

$$h_{\text{год}} = Q_{\text{год}}/Q_{\text{к}}; \quad (14)$$

$$h_{\text{год}} = \frac{B_{\text{год}}}{h_{\text{год}}} = \frac{Q_{\text{год}}}{\eta_{\text{к.а}}^{\text{бр}} Q_{\text{н}}^{\text{с}} h_{\text{год}}}. \quad (15)$$

Часовая и годовая выработка теплоты определялась с учетом теплопотерь, собственных нужд котельной по формуле:

$$Q_{\text{хм}} = Q_{\text{max}} \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{хм}}}{T_{\text{в}} - T_{\text{от}}}. \quad (16)$$

При переходе на модульные котельные сокращаются валовые выбросы оксидов углерода и азота в окружающую среду, что способствует оздоровлению и экологической обстановки в целом.

Для эффективного решения задач энергосбережения, исключения платы за потери в подводящих системах нужно создать бесперебойный учет и контроль расхода энергоносителей. Как показывают исследования, счетчики коммерческого учета тепловой энергии и воды установлены не во всех исследуемых объектах, либо не на всех вводах. При значительной территории, прилегающей к объекту, больших объемах зданий рекомендуется на всех вводах в здание, объектах, сдаваемых в аренду, устанавливать счетчики технического учета.

Список литературы

1. Хаванов П.А. Автономная система теплоснабжения // АВОК. – 2007. – № 1.

2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для ВУЗов / Е.Я. Соколов. 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 2001.

Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для ВУЗов по направлению “Теплоэнергетика”/ О.Л. Данилов, А.Б.Гаряев, И.В.Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

М.А. Михайлов, А.И. Пеннер

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аннотация. В статье рассматриваются особенности и возможности преобразования солнечной энергии в электрическую и тепловую, рассмотрены солнечные коллекторы, солнечные станции, солнечные пруды и возможность их комбинированной работы

Ключевые слова: фотоэлемент, коллектор, башенная солнечная электростанция, солнечный пруд, солнечная энергетическая установка

Применение оборудования с возможностью видоизменения солнечной энергии – гелиоколлекторов и гелиопанелей с каждым годом приобретает все больший интерес ввиду экологичности использования.

Феномен фотоэлектрического эффекта, описывающий испускание электронов в результате влияния солнечного излучения, отмечался еще А. Беккерелем в 1839 году, но полностью подготовлен и исследован был А. Эйнштейном в 1905 году, после был удостоен Нобелевской премии. Ч. Фриттс с помощью этого феномена собрал в 1883 году первый солнечный модуль. В СССР связи с запуском нового искусственного спутника, в 1957 году впервые в нем были использованы фотогальванические элементы, США использовали подобный запуск с солнечными панелями

Explorer 1 в 1958 году. С солнечные батареи на основе кремния сделались главным источником энергии для космических кораблей и орбитальных станций в том же году.

При коммерческом использовании солнечных батарей в некоторых районах целесообразно отдавать наработанную солнечную энергию за день в общую энергосеть, при этом получать скидку на оплату электричества.

Потребность в накоплении теплоты в солнечных системах вызвана несоответствием времени и коэффициентов попадания количества солнечного теплового потребления и радиации в связи с вращением земли.

В настоящее время возможны несколько вариантов применения солнечной энергии на предприятиях: 1) плавучие солнечные острова на воде, 2) солнечные электростанции башенного типа, 3) использование энергии солнечных прудов.

Рассмотрим их особенности:

1. Для электростанции преимущественным является расположение системы концентраторов на плавучем легкоподвижном острове в воде (рис. 1).

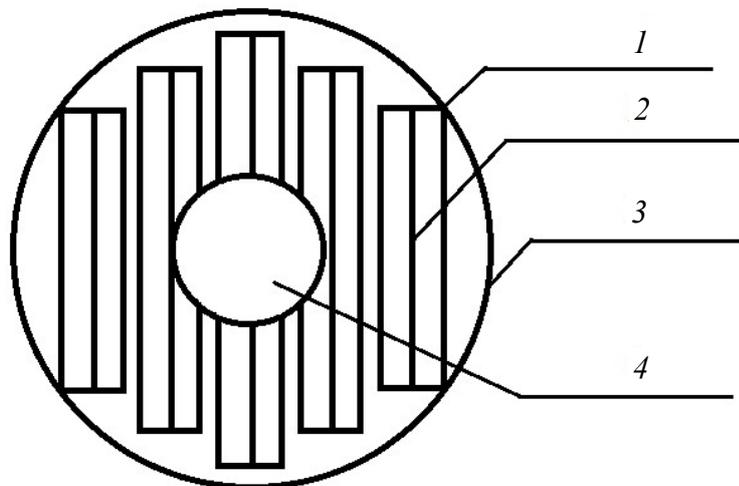


Рис. 1. Солнечный остров: 1 – гелиостаты; 2 – трубы с водой; 3 – платформа; 4 – турбина, генератор, конденсатор

Концентраторами в данной схеме являются протяженные цилиндрические зеркала, в фокусе которых проложены водяные трубы, вода в которых вследствие нагревания превращается в пар. Для постоянной фокусировки зеркала на солнце, в течение дня весь остров делает медленные повороты в его сторону. В осуществлении поворота острова участвуют винтовые электромоторы, расположенные под водой в 10 метрах друг от друга. Намного дешевле и проще использовать систему подобного типа вместо поворота каждого зеркала отдельно.

Для такой электростанции нет необходимости в возведении фундамента, остров плавает на воде в виде тора, поверх него натянута тонкая мембрана, на которой расположены зеркала. Воздушные массы подкачивают воздух под мембрану. При давлении менее чем 0,1 атмосфер такое поле создает подъемную силу, обеспечивающую плавучесть всего комплекса.

Был проведен анализ мощности самого большого острова диаметром 5 км. Также немаловажным достоинством острова является предоставление более 95% суммарной площади этого сооружения для собирания солнечных лучей.

При расположении станции в акватории моря полученную энергию можно передавать на сушу посредством кабеля, или использовать ее на месте, получая из морской воды водород, его можно складировать на острове, и далее переправлять на сушу. Солнечные острова можно возводить также на суше, используя соответствующие бассейны с водой.

Такие электростанции наиболее эффективны в местах с благоприятным климатом, в частности с большим обилием солнечных дней.

Солнечные острова являются экономически выгодными ввиду невысокой стоимости их производства и обслуживания. В будущем целесообразно рассмотреть использование нейтральных вод и возведение международных электростанций.

2. Такой способ выработки электроэнергии является очень актуальным, поскольку используемое солнце является экологически чистым и возобновляемым источником энергии. Башенная солнечная электростанция состоит из поля гелиостатов – зеркал, следящих за движением Солнца, собирающих свет и направляющих его на вершину башни, где концентрируется на теплопоглощающей поверхности котла.

Полученный в результате пар поступает в паротурбину, подсоединенную к электрическим генераторам (рис. 2).

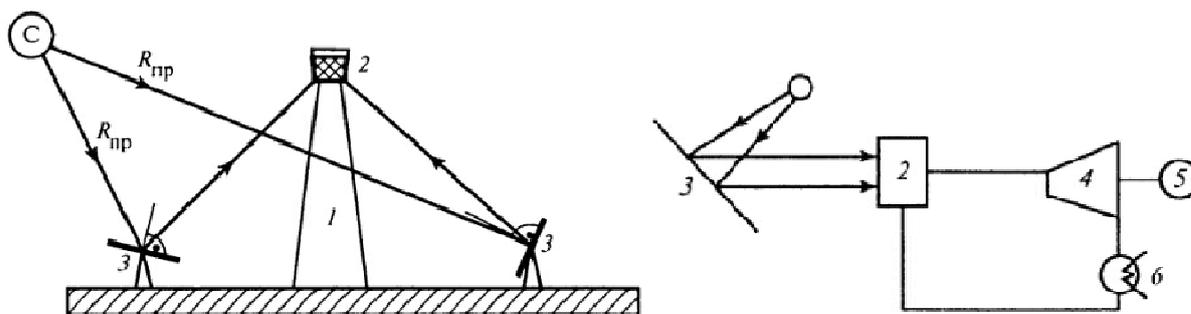


Рис. 2. Основные положения башенной солнечной энергетической станции (а) и принципиальная схема преобразования солнечной энергии в электрическую (б):
1 – башня; 2 – котел-теплоприемник солнечного излучения; 3 – гелиостаты;
4 – турбина; 5 – генератор; 6 – конденсатор

Данная электростанция будет эффективна, при расположении ее в местах большого количества солнечных дней. Реальные башенные солнечные электростанции успешно эксплуатируются в Испании, Австралии, Китае и других странах.

Данные исследования могут быть практически применены при учете пиковых нагрузок потребления электроэнергии.

3. Основным принципом действия солнечных энергетических установок с применением солнечных прудов лежит феномен, который был открыт физиком Кирсинским в начале XX. При добавлении в закрытый водоем определенное количество слоев жидкости с солью разной концентрации (в верхних слоях минимальная, нижних – максимальная), то в результате освещения пруда солнечными лучами нижние слои нагреваются до температуры гораздо более высокой температуры верхних.

Для конструктивных особенностей солнечного пруда и состава раствора солей, в нижних слоях солнечного пруда возможно получить жидкость температуры от 60 до 90 градусов и даже выше.

Подобные солнечные энергетические установки имеют неоспоримые достоинства. К примеру, по сравнению с башенными солнечными электростанциями данные не нуждаются в больших расходах на конструкционные материалы в единицу используемой площади.

Наличие большого объема нагретой воды дает возможность солнечным прудам работать с аккумуляторами теплоты с разным аккумуляционным циклом.

При этом накопленное в них тепло можно использовать как для получения электроэнергии, так и для теплоснабжения сооружений и зданий. Солнечный пруд с суммарной глубиной около двух метров может обеспечивать непрерывную работу СЭУ в течении недели даже при полном отсутствии солнечного излучения при наличии соответствующего объема жидкости в солнечном пруде. При увеличении объема солнечного пруда можно получить цикл тепловой аккумуляции вплоть до сезонного регулирования. Например, интенсивное накопление избытков солнечной энергии летом, аккумулируется и хранение полученного тепла до холодных сезонов года с целью использования его для отопления зданий и сооружений.

Поток солнечной энергии изменяется в течении суток от нуля в ночное время до максимального значения в солнечный полдень. Так как тепловая нагрузка отопления максимальна в зимний период, а поступление

солнечной энергии в этот период минимально, для обеспечения равномерного и всепогодного теплоснабжения необходимо улавливать солнечной энергии больше, чем требуется в данный момент, а избыток накапливать в аккумуляторах различного типа.

Немаловажным преимуществом применения солнечной энергии является многообразие способов и оборудования для ее преобразования.

Таким образом реализацией этих подходов в настоящее время и в будущем является применение плавучих солнечных островов, плоских и сферических линзовых солнечных панелей, солнечных электростанций башенного типа, солнечных батарей со сферической линзой, солнечные пруды и т. д.

Список литературы

1. Виссарионов В. И. Солнечная энергетика. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Hinderling T., Allani U. Солнечные острова – новый подход к экономичности. Солнечные электростанции // CSEM Научно-технический отчет, 2007.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РЕМОНТА ДВУХКОНТУРНОГО КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

С.В. Новичков¹, А.А. Глебов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: ¹novishkovsv@mail.ru

Аннотация. На основе сетевых моделей проанализировано изменение общей длительности ремонта двухконтурного котла-утилизатора в зависимости от объемов ремонтных операций.

Ключевые слова: сетевой график, критический путь, котел-утилизатор, ремонт, такелаж, барабан, гидроиспытание.

Современный уровень энергетических мощностей предъявляет высокие требования не только к экономичной и бесперебойной работе оборудования на энергообъектах, но требует проведения организационных мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, которые обеспечивали бы его надежную и длительную работу без вынужденных остановов на ремонт.

Ремонтный процесс характеризуется высокой динамичностью и проводится в жестко ограниченные сроки. Перечень, объем и сроки выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту теплотехнического оборудования устанавливаются в соответствии с требованиями заводских инструкций по их эксплуатации и других действующих документов.

Существенную организационную помощь в проведении плановых ремонтов энергетического оборудования оказывает сетевой график, который определяет виды работ, последовательность и продолжительность их выполнения, состав бригады. Путь с максимальной продолжительностью выполнения работ называется критическим, и именно он определяет общую продолжительность работ. Для приведения критической продолжительности сетевой модели к директивной продолжительности, необходимо просмотреть работы для выявления и корректировки завышенных временных оценок. Это проводится с целью изыскания возможности изменения принятой технологии ремонта и возможности выведения работ в параллель. Рассмотреть возможность сокращения длительности работ путем применения механизмов или совершенных методов производства, а также увеличение численности рабочих.

При этом надо учитывать, что не все ремонтные операции допускают возможность ускорения путем увеличения числа работающих (размер рабочего места, характер работ, наличие специального инструмента).

На основе построения сетевых моделей было проанализировано изменение общей длительности ремонта двухконтурного котла-утилизатора от следующих объемов ремонтных операций (варианты):

- 1) осмотр котла-утилизатора без обнаружения дефектов и замены элементов;
- 2) вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го и 2-го контура;
- 3) вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го контура и ремонтом поверхностей нагрева 2-го контура;
- 4) вскрытие котла-утилизатора с ремонтом поверхностей нагрева 1-го и 2-го контура.

В первом варианте перечень работ состоял из следующих ремонтных операций: остановка (расхолаживание) котла, гидроиспытание котла, осмотр и дефектация труб, оформление документации по результатам осмотра. В зависимости от требований производственных инструкций, оснащенности и опыта персонала, оказалось возможным сокращение критического пути до шести дней (144 часов).

При замене поверхностей контура котла-утилизатора учитывались следующие виды работ: вырезка обшивки, разборка обмуровки, установка ремонтной площадки, сборка такелажной схемы, замена труб, проверка сварных стыков. Кроме этого, еще учитывались работы по проверке барабана: снятие изоляции с барабана и опускных труб, зачистка поверхности барабана под контроль металла, контроль металла. Наибольшие временные затраты приходятся на работы, связанные с заменой труб.

При ремонте поверхностей нагрева учитывались следующие виды работ: вырезка обшивки и разборка обмуровки, установка ремонтной площадки, сборка такелажной схемы, рихтовка поверхностей нагрева, проверка и изготовление креплений труб, замена дефектных и сгоревших креплений, вырезка дефектных участков труб, проверка сварных стыков. Рихтовка поверхностей нагрева, проверка и изготовление креплений труб, вырезка дефектных участков труб требуют максимальных временных затрат.

В табл. 1 показаны мероприятия, проводимые при ремонте котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го контура и ремонтом поверхностей нагрева 2-го контура (3-й вариант), а на рисунке – соответствующий сетевой график.

Таблица 1

Вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го контура
и ремонтом поверхностей нагрева 2-го контура

№ п/п	Вид работ	Код работ	Номер предшествующего события	Номер последнего события	Прод-ть, дни	Кол-во рабочих, чел.
1	Остановка котла (расхолаживание)	1-2	1	2	1	0
2	Гидроиспытание котла	2-3	2	3	1	10
3	Осмотр и дефектация труб	3-4	3	4	4	4
Замена поверхностей нагрева 1-ого контура						
4	Вырезка обшивки, разборка обмуровки	4-5	4	5	5	5
5	Установка ремонтной площадки	5-6	5	6	3	2
6	Сборка такелажной схемы	6-7	6	7	2	5
7	Замена труб	7-8	7	8	10	6
8	Правка и замена змеевиков экономайзеров	8-9	8	9	7	6
9	Проверка сварных стыков	9-10	9	10	5	3
Ремонт поверхностей нагрева 2-ого контура						
10	Вырезка обшивки, разборка обмуровки	4-11	4	11	5	5
11	Установка ремонтной площадки	11-12	11	12	3	2
12	Сборка такелажной схемы	12-13	12	13	2	5
13	Рихтовка поверхностей нагрева	13-14	13	14	16	6
14	Проверка и изготовление креплений труб	14-15	14	15	9	3
15	Замена дефектных и сгоревших креплений	15-16	15	16	10	6
16	Вырезка дефектных участков труб	16-17	16	17	8	4
17	Проверка сварных стыков	17-18	17	18	5	3

Окончание таблицы 1

№ п/п	Вид работ	Код работ	Номер предшествующего события	Номер последнего события	Прод-ть, дни	Кол-во рабочих, чел.
Проверка барабана						
18	Снятие изоляции с барабана и опускных труб	4-19	4	19	5	5
19	Зачистка поверхности барабана под контроль металла	19-20	19	20	11	4
20	Контроль металла	20-21	20	21	6	0
Вывод котла из ремонта						
21	Гидроиспытание	22-23	22	23	2	10
22	Разборка такелажной схемы	23-24	23	24	4	5
23	Восстановление обмуровки, обшивки и изоляции барабана	24-25	24	25	8	6
24	Разборка ремонтных площадок	25-26	25	26	2	8
25	Промывка котла	26-27	26	27	5	7
26	Сдача инспектору Котлонадзора, если котел зарегистрирован	27-28	27	28	1	0
27	Ввод котла в эксплуатацию	28-29	28	29	1	0

Была определена продолжительность всех возможных путей ремонта котла-утилизатора по этому варианту.

1-й путь:

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 22 – 23 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 29:

$1 + 1 + 4 + 5 + 3 + 2 + 10 + 7 + 5 + 2 + 4 + 8 + 2 + 5 + 1 + 1 = 61$ день;

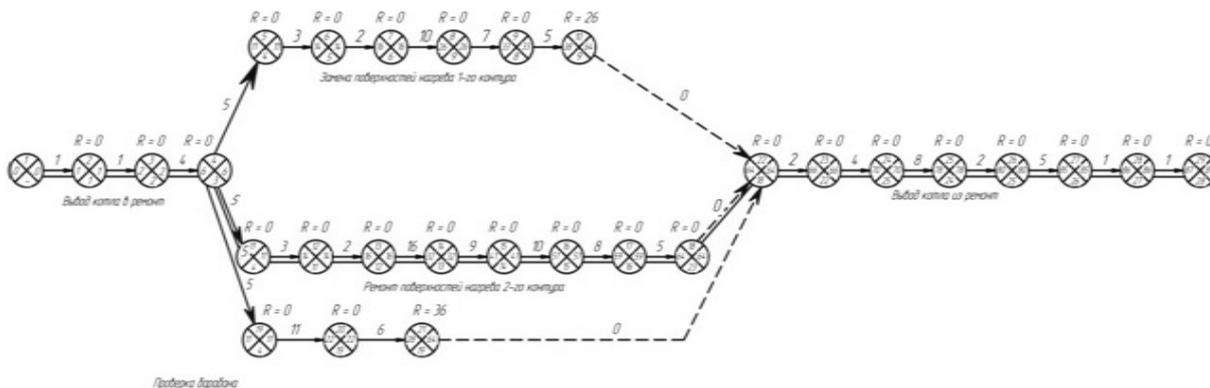
2-й путь:

1 – 2 – 3 – 4 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 18 –
– 22 – 23 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 29: $1 + 1 + 4 + 5 + 3 + 2 +$
 $+ 16 + 9 + 10 + 8 + 5 + 2 + 4 + 8 + 2 + 5 + 1 + 1 = 87$ дней;

3-й путь:

1 – 2 – 3 – 4 – 19 – 20 – 21 – 22 – 23 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 29:

$1 + 1 + 4 + 5 + 11 + 6 + 2 + 4 + 8 + 2 + 5 + 1 + 1 = 51$ день.



Сетевой график ремонта котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го контура и ремонтом поверхностей нагрева 2-го контура

В табл. 2 показана длительность начального, заключительного этапов ремонта, а также общая длительность ремонта двухконтурного котла-утилизатора при различных вариантах ремонта.

Таблица 2

Поэтапная и общая длительности ремонта двухконтурного котла-утилизатора

Тип ремонта одноконтурного котла-утилизатора	Длительность этапов, дни		
	начальный	заключительный	общий
Осмотр котла-утилизатора без обнаружения дефектов и замены элементов	–		6
Вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го и 2-го контура	6	23	61
Вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева 1-го контура и ремонтом поверхностей нагрева 2-го контура			87
Вскрытие котла-утилизатора с ремонтом поверхностей нагрева 1-го и 2-го контура			87

Из табл. 2 видно, что длительность ремонта котла-утилизатора, связанная с заменой поверхностей нагрева на 26 дней (30%) меньше длительности ремонтных операций, связанных с устранением дефектов поверхностей нагрева котла-утилизатора. Состав и длительность работ на начальном и заключительном этапе ремонта приняты одинаковыми.

Список литературы

1. Рожнатовский В.Д. Сетевое планирование и управление при производстве ремонтов энергетического оборудования / В.Д. Рожнатовский. – М.: МЭИ, 2005. – 81 с.

УДК 772.96

СПОСОБ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (ТЕРМОГРАММ)

*М.В. Павлов¹, Д.Ф. Карпов², В.И. Стрекалова³, Е.С. Капкина⁴,
В.П. Березина⁵, Е.Ю. Климов⁶*

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

E-mail: ²karpov_denis_85@mail.ru, ³isf@mh.vstu.edu.ru,

⁴evgenia.kapckina@yandex.ru, ⁵ranel19@yandex.ru, ⁶tm35@list.ru

Аннотация. Выполнен обзор существующих методик количественного анализа тепловых изображений (термограмм) на базе нормативных документов и методических рекомендаций. системы отопления, основанный на получении теплового изображения. Предложен авторский способ количественной оценки теплового состояния отопительного прибора и его подводок с последующим расчетом по специальной формуле расхода теплоносителя.

Ключевые слова: тепловизионное обследование; тепловизор; качественный и количественный анализы тепловых изображений; термограмма.

В соответствии с действующим государственным стандартом [1] результаты тепловизионного обследования в зависимости от поставленных задач могут быть разделены на качественные и количественные. Качественный анализ тепловых изображений ограничивается информацией, содержащейся в самих термограммах, полученных и обработанных тепловизором, количественный – направлен на расчет конкретных теплотехнических параметров. Причем в первом случае не является обязательным требованием получение точных температурных данных об объекте контроля, так как цель качественного анализа заключается в выявлении дефектов. Количественные результаты термографирования, напротив, сопровождаются компьютерной обработкой снятых термограмм с целью получения распределения температур по поверхности объекта, максимально близкого к действительному. В большинстве технических отчетов присутствуют как качественный, так и количественный анализы термограмм.

В данной статье рассмотрены наиболее известные варианты количественной обработки термограмм и предложен авторский способ количественного анализа тепловых изображений, касающийся оценки работы систем отопления зданий.

В государственном стандарте [1] количественный анализ тепловых изображений основан на расчете локальных относительных (по отношению к базовому участку) сопротивлений теплопередаче. Значение относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ в выбранной точке на поверхности ограждающей конструкции рассчитывается следующим образом:

– для внутренних обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_b - \tau_b^{\circ} - \theta(x, y)}; \quad (1)$$

– для наружных обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_n - \tau_n^{\circ} - \theta(x, y)}, \quad (2)$$

где $\theta(x, y)$ – разность между температурой $\tau(x, y)$ изотермы, проходящей через точку с координатами x и y на соответствующей поверхности ограждающей конструкции, и температурой поверхности базового участка τ_b , °С; t_b и t_n соответственно температура внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента, °С; τ_b° и τ_n° – соответственно температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях, °С.

Пример расчета относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ ограждающей конструкции на примере наружной стены жилого здания рассмотрен в [2].

Самым распространенным вариантом количественной диагностики ограждающих конструкций зданий является определение фактического термического сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по результатам натурных измерений с целью последующего сравнения значения с нормативным показателем.

Расчет термического сопротивления в реперных зонах (базовых участках) R_6 , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, проводится по результатам измерения температур и плотностей теплового потока соответствующими измерительными приборами согласно [3] по формуле:

$$R_6 = \frac{\tau_{\text{в}}^6 - \tau_{\text{н}}^6}{q}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{в}}^6$ и $\tau_{\text{н}}^6$ – соответственно температура внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции в реперной зоне, $^{\circ}\text{C}$; q – плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$, которую рекомендуется определять на внутренней поверхности ограждения.

За итоговое значение величины R_6 рекомендуется принимать среднее значение R_6^{cp} , полученное по результатам нескольких тепловых измерений.

Расчет термического сопротивления требуемого участка ограждающей конструкции (например, аномальной зоны) $R_{\text{тp}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, выполняется по формуле:

$$R_{\text{тp}} = R_6^{\text{cp}} \frac{\tau_{\text{н}}^6 - t_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}}^{\text{тp}} - t_{\text{н}}}, \quad (4)$$

где R_6^{cp} – среднее термическое сопротивление реперной зоны, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $\tau_{\text{н}}^6$ – температура наружной поверхности в реперной зоне, $^{\circ}\text{C}$; $\tau_{\text{н}}^{\text{тp}}$ – температура наружной поверхности на требуемом участке ограждающей конструкции, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

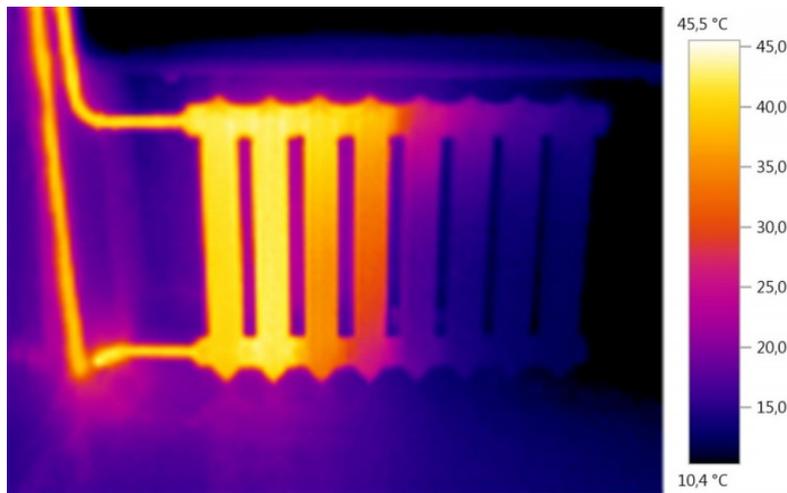
Для сравнения с нормируемым [4] или проектным значением далее вычисляется сопротивление теплопередаче при расчетных температурных условиях:

$$R_0 = R_{\text{тp}} + 0,115 + 0,043, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}. \quad (5)$$

В формуле (5) числа 0,115 и 0,043 – сопротивления теплоотдаче соответственно на внутренней и наружной поверхностях ограждения при расчетных условиях.

Авторский способ количественного анализа тепловых изображений основан на тепловизионной съемке отопительного прибора с его подводками и последующем определении фактического массового расхода теплоносителя. Данная величина может быть использована, например, для нахождения скорости движения теплоносителя или при расчете фактической тепловой мощности участка системы отопления.

На практике при проведении внутреннего тепловизионного обследования, как правило, термографируют и отопительные приборы с целью возможного обнаружения засоренных секций, для измерения температуры их поверхностей и др.



Термограмма отопительного прибора (правые секции засорены)¹

Современные прикладные программы, которые обычно поставляются вместе с тепловизором, позволяют строить термопрофилограммы (температурные линий); температурные рельефы; определять максимальную, минимальную и среднюю температуры выделенного участка термограммы и т. п. Учитывая, что все существующие отопительные приборы выполнены из теплопроводных металлов (сталь, чугун и др.), а радиаторная краска имеет минимальную толщину слоя, с определенной точностью можно принимать температуру циркулирующих в них теплоносителей равной температуре их поверхностей. В этом случае не составляет особой сложности измерение тепловизором температуры теплоносителя на входе и на выходе

¹ Специалисты порекомендовали устанавливать радиаторы отопления только надёжным способом [Электронный ресурс] // Справочно-информационный портал для новосибирцев и гостей города, 2017. – Режим доступа: <http://news.ngs.ru/more/50416441>. – Загл. с экрана.

из отопительного прибора (принимаются максимальные значения по толщине подводок) и средней температуры на его обследуемой поверхности.

Фактический расход теплоносителя G , кг/ч, через отопительный прибор может быть вычислен по уравнению:

$$G = 0,86\alpha \frac{t_{\text{cp}} - t_{\text{в}}}{t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}} F, \quad (6)$$

где 0,86 – переводной коэффициент; α – средний коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отопительного прибора, Вт/(м² · К). Для большинства отопительных приборов коэффициент теплоотдачи α известен. Например, для чугунных секционных радиаторов по данным [5] примерно равен 10 Вт/(м² · К); t_{cp} – средняя температура поверхности отопительного прибора, обращенной в помещение, °С; $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха в помещении, °С; $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – соответственно максимальная температура поверхностей подающей и обратной подводок к отопительному прибору, °С; F – площадь поверхности нагрева отопительного прибора (определяется по паспортным данным отопительного прибора в зависимости от количества секций), м².

Уравнение (6) связывает между собой охлаждение теплоносителя в отопительном приборе с конвективным обогревом помещения.

Проведенный количественный анализ термограмм отопительных приборов подтверждает состоятельность разработанной методики.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
2. Букирев Е.Ю., Ермалюк М.П., Тихов А.Е., Карпов Ф.Д. Структура технического отчета по тепловизионному обследованию объекта контроля // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи, 2016. – Т. 1. – С. 145–148.
3. МДС 23-1.2007. Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 11 с.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.
5. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление. – М.: АСВ, 2008. – 576 с.

УДК 621.311.2

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПАРОВЫХ ТУРБИН В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС

И.А. Ростунцова

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: Rostunzeva@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена эффективность применения гидропаровой турбины (ГПТ) как альтернативной установки утилизационного типа. Представлены общий вид и сопло гидропаровой турбины, термодинамический процесс в установке. Проведен анализ энергетических параметров ГПТ при различных температурах воды на входе в канал турбины. Получено, что при уменьшении температуры воды на входе в канал турбины расход рабочей жидкости растет. Результирующая мощность на валу турбины и КПД также увеличиваются при уменьшении температуры. Увеличиваются потери мощности, расходуемой на трение ротора за счет роста оптимальной окружной скорости. В результате исследования определены основные направления использования гидропаровых турбин в схемах теплоэнергетических установок.

Ключевые слова: энергетических установок, гидропаровая турбина, сбросная теплота, парожидкостная смесь

Цель исследования, постановка задачи. Мировой рост стоимости топлива и ректификация требований по снижению выбросов парниковых газов определяют задачи создания энергетических установок, обладающих высокой эффективностью и топливной экономичностью.

В этом направлении приоритетными становятся разработки установок на основе возобновляемых источников энергии, а также установок, использующих утилизационную или сбросную теплоту от энергетических объектов.

Одним из перспективных направлений утилизации избыточной теплоты горячей воды является использование гидропаровых турбин (ГПТ), которые позволяют преобразовать тепловую энергию горячей воды с температурой 90–180 °С энергетических объектов в механическую и, в частности, электрическую энергию, отдаваемую в сеть [1] и работающие по принципу сегнера колеса, которые отличаются простотой схемы и конструкции, не требуют предварительной очистки воды. Такие турбины могут быть использованы для привода генератора или вспомогательных механизмов на промышленных предприятиях и геотермальных полях, как в составе проектируемого энергокомплекса, так и самостоятельно. Практическая потребность в гидропаровой турбине рассматривается и как применение ее в ядерной энергетике и энергетике, основанной на использовании геотермальных вод. Здесь она может быть рассмотрена как элемент энергосберегающих технологий при утилизации избыточного тепла систем охлаждения или и в схемах утилизации избыточного тепла.

Конструктивные особенности ГПТ. Особенность гидропаровой турбины заключается в том, что в сопло поступает не доведенная до кипения жидкость, вскипающая уже в турбине во время ее работы. В результате тягу турбины создают две составляющие: традиционная гидравлическая – от истекающей из сопел жидкости и реактивная – от интенсивного ее кипения. У турбины нет лопаточного аппарата, что исключает проблемы эрозии от течений парожидкостных смесей. Фирмой «Турбокон» разработана теплотехническая схема Мутновской геотермальной электростанции на Камчатке, в состав которой входит гидропаровая турбина, использующая в качестве рабочего тела геотермальную воду [2].

В конструкции такой турбины применен принцип сегнерова колеса. При этом в турбоконовском устройстве используется как механическая энергия воды, так и тепловая. Для этого в такой турбине устанавливаются сопло Лавалья, представляющее собой канал, суженный в некоторой его части.

На рис. 1 представлен общий вид рабочих сопел ГПТ. Реактивная турбина состоит из следующих частей: 1 – ротор, в которое подводится рабочее тело; 2 – рабочее сопло; 3 – канал подвода рабочего тела к соплам 2. Рабочее тело подается в ротор 1 и по каналам 3 поступает к рабочим соплам 2.

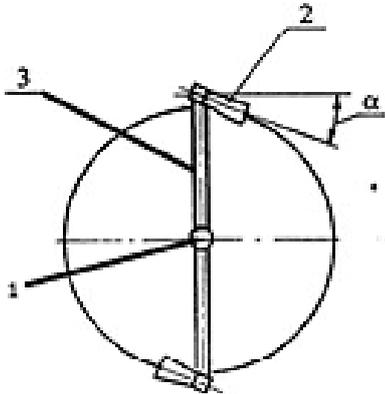


Рис.1. Рабочие сопла гидропаровой турбины:
1 – ротор; 2 – рабочее сопло; 3 – канал подвода рабочего тела к соплам

Схема энергоустановки с гидропаровой турбиной представлена на рис. 2.

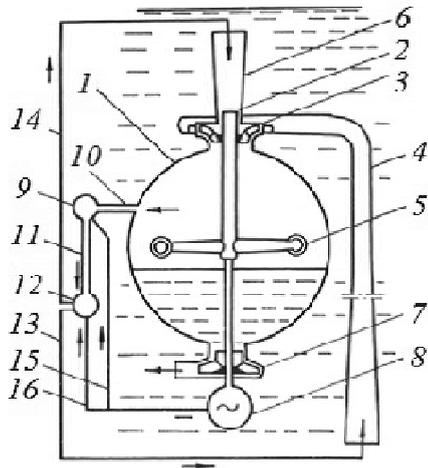


Рис. 2. Схема энергоустановки с гидропаровой турбиной: 1 – испарительная камера; 2 – вертикальный полый вал; 3 – гидравлическая турбина; 4 – трубопровод холодной воды; 5 – гидропаровая турбина; 6 – трубопровод горячей воды; 7 – центробежный насос; 8 – электрогенератор; 9 – воздушный насос; 10, 11 – трубопровод удаляемых газов; 12 – реактор; 13, 14 – трубопровод жидкого полимера; 15, 16 – электрокабель

Нагретая вода по трубопроводу 6 через полый вал 2 непрерывно поступает в гидропаровую турбину 5 (в данном случае турбина выполнена в виде сегнерова колеса). В соплах турбины происходит вскипание потока воды и расширение образующегося пара до конечного противодавления. Пар, расширяясь, сообщает ускорение пароводяной смеси. Возникающая в соплах Лавалья реактивная сила приводит во вращение вал 2, в результате чего обеспечивает работу насоса 7 и электрогенератора 8, где механическая энергия преобразуется в электрическую. Холодная вода по трубопроводу 4 через гидравлическую турбину 3 поступает в камеру 1, верхняя часть которой является конденсатором. После конденсации пара образующийся конденсат вместе с потоками холодной и теплой воды удаляют из камеры 1 насосом 7. Вакууммирование камеры 1 производят насосом 9, откачивающим через трубопровод 10 неконденсирующиеся газы (в основном выделяющийся из воды углекислый газ с парами воды). Далее газы по трубопроводу 11 направляют в реактор 12. В реакторе углекислый газ взаимодействует с сопровождающим его водяным паром, в результате чего синтезируют углеводороды. Здесь же в реакторе 12 углеводороды полимеризуют и через трубопроводы 13 и 14 направляют в потоки теплой и холодной воды. Полимеры растворяются и снижают турбулентность воды, чем достигают уменьшения сопротивления трубопроводов и каналов турбин и насоса течению водных потоков. Для приведения установки в рабочее состояние крайне важно предварительно откачать теплую воду из трубопровода холодной воды. Поэтому запуск системы в действие производят от внешнего достаточно мощного источника энергии. При этом электрогенератор 8 используют в качестве электродвигателя.

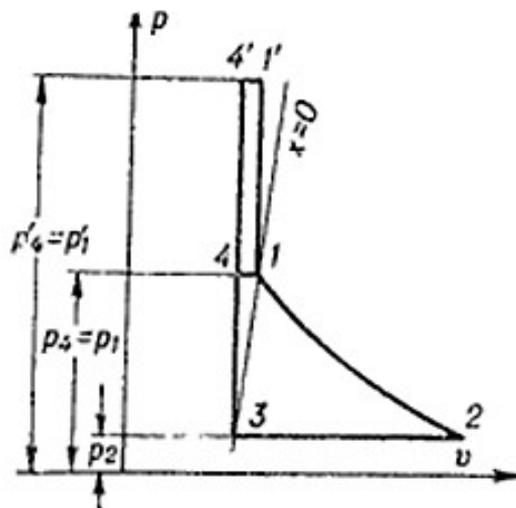


Рис. 3. термодинамический цикл гидропаровой турбины

Основной процесс происходит в соплах турбины (см. рис. 3). При прохождении воды по сужающейся части сопла выполняется закон постоянства расхода, говорящий о том, что произведение сечения трубы на скорость потока в этом сечении и на удельную плотность вещества в этом потоке постоянное. Поэтому проходя через суженную часть сопла, поток ускоряется, а, значит, его давление резко уменьшается, что приводит к тому, что вода начинает интенсивно кипеть. Образуется пароводяная смесь, пар расширяется в расширяющейся части сопла, понижая давление на конце части, и смесь выбрасывается из сопла, создавая реактивную тягу. Термодинамический процесс, происходящий в такой установке, показан на рис. 3 в координатах «давление-объём». Участок $1' - 1$ соответствует сужающейся части сопла Лавала (падение давления при ускорении потока из-за сужения сечения канала в соответствии с законом Бернулли), а участок $1 - 2$ – его расширяющейся части, где расширение пароводяной смеси, на участке $2 - 3$ происходит конденсация образовавшегося пара, участок $3 - 4$ – это повышение давления воды и её перегрев перед ротором турбины до состояния, близкого к равновесию между паром и жидкостью (с сохранением жидкого агрегатного состояния), участок $4 - 4'$ – повышение давления воды за счёт центробежных сил при её движении от оси ротора к периферийным соплам (точки 4 и 1 , а также $4'$ и $1'$ одинаковы, для удобства и наглядности нарисованы близко друг к другу, Обратим внимание, что $p_4 = p_1$ – давление насыщения поступающей воды, $p_{4'} = p_{1'}$ – давление в начале сопла Лавала. Таким образом, вся полезная работа турбины совершается за счёт внешней энергии, затраченной на повышение давление и нагрев воды на участке $3-4$.

Анализ исследования эффективности ГПТ

Проведен анализ энергетических параметров ГПТ при различных температурах воды на входе в канал турбины. В качестве расчетных использовались методики, изложенные в [2–3]. Расчет выполнен для следующих параметров:

- температура воды:
 - на входе в канал $t_1 = 90, 110, 130$ °С;
 - на срезе сопла $t_2 = 46$ °С;
- вводимая тепловая мощность $P_T = 3050$ кВт;
- скорость воды в канале составляет $v_1 = 30$ м/с, $v_2 = 100$ м/с;
- радиус действия реактивной силы $R_p = 0,8$ м;

– для закруглений принято $r_2 = r_3 = 0,1$ м;
 – скоростной коэффициент $\varphi = 0,8$. КПД гидропаровой турбины определяется по формуле согласно [2]:

$$\eta = \frac{P - P_{\text{тр}}}{P_{\text{т}} + P_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где P – мощность ротора, кВт; $P_{\text{тр}}$ – потеря мощности на трение, кВт; $P_{\text{т}}$ – вводимая тепловая мощность; $P_{\text{н}}$ – мощность насоса, кВт.

Расчетные значения параметров ГПТ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимости различных параметров ГПТ от температуры подаваемой воды

Параметры	Температура на входе в канал ГПТ, °С		
	90	110	130
Расход горячей воды на турбину, кг/с	16,5	11,3	8,6
Скорость пароводяной струи, м/с	130	185	238
Оптимальная окружная скорость ротора, 1/с	181	207	232
Мощность ротора турбины, кВт	464,53	416,2	398,1
Мощность, расходуемая на трение ротора, кВт	24,67	36,89	51,95
Мощность, затрачиваемая насосом, кВт	7,36	5,24	3,3
Коэффициент полезного действия турбины	0,144	0,124	0,113

Примечание. Вводимая тепловая мощность принята постоянной $P_{\text{т}} = 3050$ кВт.

Из табл. 1 видно, что при уменьшении температуры воды на входе в канал турбины расход рабочей жидкости растет и увеличивается почти в 2 раза. Результирующая мощность на валу турбины и КПД также увеличиваются при уменьшении температуры. Увеличиваются потери мощности, расходуемой на трение ротора за счет роста оптимальной окружной скорости.

Имея незначительный КПД, гидропаровые турбины целесообразно комбинировать в циклах газотурбинных, паротурбинных и газопоршневых установок. Это позволит по данным [3] повысить КПД указанных циклов на 15% за счет дополнительной выработки электроэнергии и экономии органического топлива.

Список литературы

1. Мильман О.О., Федоров В.А., Брусницын Н.А. Гидропаровая турбинная установка. Патент РФ на изобретение № 2184244 от 11.09.00.
2. Булат А.Ф. Усовершенствованная гидропаровая турбина для утилизации избыточного тепла шахтных энергетических объектов / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис, И.Ю. Комлева // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2010. – №2(20). – С. 25–28.

3. Чемерис И.Ф. Выработка дополнительной электроэнергии на базе гидропаровых турбин в шахтных энергокомплексах / И.Ф. Чемерис // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. –Д.: Ин-т геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины, 2007. – Вып. 73. – С. 214–219.

УДК 621.311.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРСИРОВОЧНЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ АЭС С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ

И.А. Ростунцова¹, Н.А. Бурмистров

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: ¹Rostunzeva@mail.ru

Аннотация. В условиях роста мировых цен на органическое топливо, одним из факторов сдерживания роста тарифов на электрическую энергию в энергосистемах, с преобладанием ТЭС, является выравнивание или уплотнение графиков электрических нагрузок энергосистемы. Для покрытия пиковой части графика электрических нагрузок можно использовать и базовые энергоустановки, в том числе энергоблоки АЭС путем их кратковременной форсировки. Рассмотрены режимы форсировки позволяющие получить прирост электрической мощности блока до 20 МВт.

Ключевые слова: графики электрических нагрузок, режимы форсировки, энергоблок АЭС, энергосистема, оптимальный эксплуатационный вакуум

Условия работы энергетической системы и входящих в ее состав электростанций определяются режимом электро- и теплопотребления обслуживаемого ими района. Они характеризуются соответствующими графиками электрических нагрузок. Главный закон функционирования любой энергосистемы заключается в непрерывном обеспечении баланса спроса и предложения на электроэнергию путем оперативного покрытия графика нагрузки соответствующей выработкой электроэнергии на генерирующих источниках с гарантированной поставкой ее в узлы потребления. В случае нарушения этого закона в энергосистеме изменяются частота сети переменного тока и расчетные уровни напряжения.

Проблема покрытия неравномерных графиков электрической нагрузки характерна для любой энергосистемы мира. Она решается, как правило, тремя основными путями: созданием в энергосистеме оптимальной структуры генерирующих мощностей, использованием перетоков с соседними энергосистемами и привлечением потребителей к выравниванию графика нагрузки энергосистемы за счет административных и экономических мер [1].

Эффективность покрытия неравномерных графиков нагрузки энергосистемы определяется в первую очередь составом и характеристиками энергоблоков электростанций энергосистемы. Статистический анализ

суточных графиков электрических нагрузок отдельных электростанций и энергосистем за многолетний период показывает, что происходит систематическое их разуплотнение. Максимумы нагрузки растут, а относительные минимумы падают, что объясняется как ростом электрификации быта, так и уменьшением числа работающих предприятий в ночное время.

Оптимальные режимы работы проектируемого энергоблока должны определяться в зависимости от общих графиков потребления электроэнергии в системах, структуры их генерирующих мощностей и технических возможностей регулирования электрической мощности каждого имеющегося агрегата [2].

На графике электрических нагрузок энергосистемы могут быть выделены четыре характерных зоны, отличающиеся своей плотностью: базовую, полубазовую, полупиковую, пиковую. В каждой зоне графика используются определенные типы энергоустановок, что позволяет достичь наименьшего расхода топлива в энергосистеме.

Работу атомных электростанций планируют в базовой части графика из-за практической невозможности и экономической нецелесообразности снижения их нагрузки. Возможность кратковременного получения пиковой мощности на крупных энергоблоках заключается в использовании принятых при проектировании коэффициентов запаса. Как правило, для этого требуются относительно небольшие дополнительные капиталовложения. Эту дополнительную мощность можно эффективно использовать и в качестве аварийного резерва, поэтому её называют встроенным вращающимся резервом.

Принятые для номинального режима параметров рабочего тела, в том числе потери давления в цикле, скорости движения, температурные напоры, выходной скорости ступеней, и другие, могут допускать определенные отклонения в связи с форсировочными режимами. На форсировочных режимах снижается КПД энергоблока, повышается его износ и несколько снижается надежность работы оборудования. Вместе с тем достигается значительная экономия средств и материалов за счет соответствующего снижения потребных мощностей специальных пиковых установок.

Обеспечение форсировки блока возможно несколькими путями (при этом расход теплоносителя в реакторе предполагается неизменным, а подогрев теплоносителя увеличенным):

1. Без установки дополнительного вторичного пароперегревателя (ВПП) при той же поверхности теплопередачи в парогенераторе (ПГ).

Параметры насыщенного пара перед турбиной снижаются. Пропуск всего расхода пара через турбину возможен только путем байпасирования проточной части [3].

2. При включении вторичного пароперегревателя с соответствующей дополнительной поверхностью нагрева. Режим работы парогенератора (ПГ) и параметры пара турбины остаются неизменными. Пропуск всего пара обеспечивается перегрузочным клапаном, рассчитываемым на меньшей, чем в первом случае расход, так как давление пара постоянно и не снижается, но недостаточно для пропуска увеличенного расхода пара через часть высокого давления (ЧВД) турбины [2];

3. Комбинированный принцип получения дополнительной мощности за счет частичного развития поверхности ПГ. При этом частично снижаются параметры пара в нем при росте среднего температурного напора;

4. Повышенный пропуск пара в конденсатор за счет отключения ПВД.

При форсировки блоков возникают новые режимы работы, оказывающие определенное влияние на оптимальные значения параметров их эксплуатации. Так, на режимах с повышенным пропуском пара в конденсатор, необходимо рассмотреть вопрос выбора оптимального эксплуатационного вакуума $p_{эф,i}$, который необходимо поддерживать в режимах форсировки энергоблока, а также экономию от оптимизации эксплуатационного вакуума [3].

Критерием оптимального эксплуатационного вакуума, который необходимо поддерживать в режимах форсировки энергоблока является максимум отпуска электроэнергии с шин станции:

$$\Delta N_{ТФ} - \Delta N_{Н} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $\Delta N_{ТФ}$ – изменение мощности турбины, связанное с достижением максимального эксплуатационного вакуума, кВт; $\Delta N_{Н}$ – дополнительный расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов, связанный с увеличением расхода циркуляционной воды для достижения оптимального давления пара в конденсаторе на форсировочном режиме $p_{эф,i}$, кВт.

Изменение мощности турбоустановки $\Delta N_{ТФ}$, МВт, можно определить согласно по формуле:

$$\Delta N_{ТФ} = (D_k + \Delta D_{\phi}) \left[(h_{2\phi_0} - h_{2\phi_i}) - \Delta h_{вс} \right], \quad (2)$$

где D_k и ΔD_{ϕ} – суммарный расход пара в конденсатор на номинальном режиме и его увеличение на форсировочном режиме, кг/с; $h_{2\phi_0}$, $h_{2\phi_i}$ – энтальпия пара в конце реального процесса расширения пара при форсировки

в условиях неизменного расхода циркуляционной воды через насосы и при регулировании этого расхода G_{Hi} , кДж/кг; $\Delta h_{вс}$ – изменение потерь с выходной скоростью в расчетном варианте.

Изменение мощности циркуляционных насосов ΔN_H , МВт, связанное с переходом от исходного варианта работы N_{HO} к оптимальному N_{Hi} определяется по выражению:

$$\Delta N_H = N_{Hi} - N_{HO}, \quad (3)$$

где N_{Hi} – мощность циркуляционных насосов, МВт, рассчитывается по формуле:

$$N_{Hi} = \frac{G_{Hi} H_{Hi}}{\rho \eta_{Hi}}, \quad (4)$$

где G_{Hi} – расход циркуляционной воды, кг/с:

$$G_{Hi} = \frac{D_{ki} \eta_{oc} (h_{пк} - h_k)}{C_{PB} (t_{2B} - t_{1D})}, \quad (5)$$

где D_{ki} – расход пара в конденсатор, кг/с; $h_{пк}$ и h_k – энтальпии пара и конденсата, кДж/кг; t_{2B} и t_{1B} – температура циркуляционной воды на входе и выходе; H_{Hi} – полный напор, развиваемый циркуляционным насосом, кПа; ρ – плотность воды, осредненная по процессу сжатия кг/м³; η_{Hi} – КПД циркуляционного насоса.

Напор H_{Hi} складывается из потерь давления в водоводах H_{Bi} , конденсаторе H_{Ki} и геодезических потерь давления $H_{Г}$:

$$H_{Hi} = H_{Bi} + H_{Ki} + H_{Г}. \quad (6)$$

Так в диапазоне изменения мощности осевого насоса от 49 320 до 74 880 м³/ч, напор изменяется от 24,5 до 27,8 м и КПД изменяется от 80 до 87%.

Экономический эффект \mathcal{E}_t , руб./год от оптимизации эксплуатационного вакуума определяется:

$$\mathcal{E}_t = \tau_{\Phi} T_{\mathcal{E}\mathcal{E}} (\Delta N_{T\Phi} - \Delta N_H), \quad (7)$$

где τ_{Φ} – число часов использования установки на форсировочных режимах, ч/год; $T_{\mathcal{E}\mathcal{E}}$ – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Расчет оптимальной величины эксплуатационного вакуума произведен в зависимости величины относительного расхода пара:

$$d_{\Phi} = D_k^{\Phi} / D_k. \quad (8)$$

и давления в конденсаторе. На рис.1 представлены изменения основных системных параметров блока в зависимости от режимов форсировки.

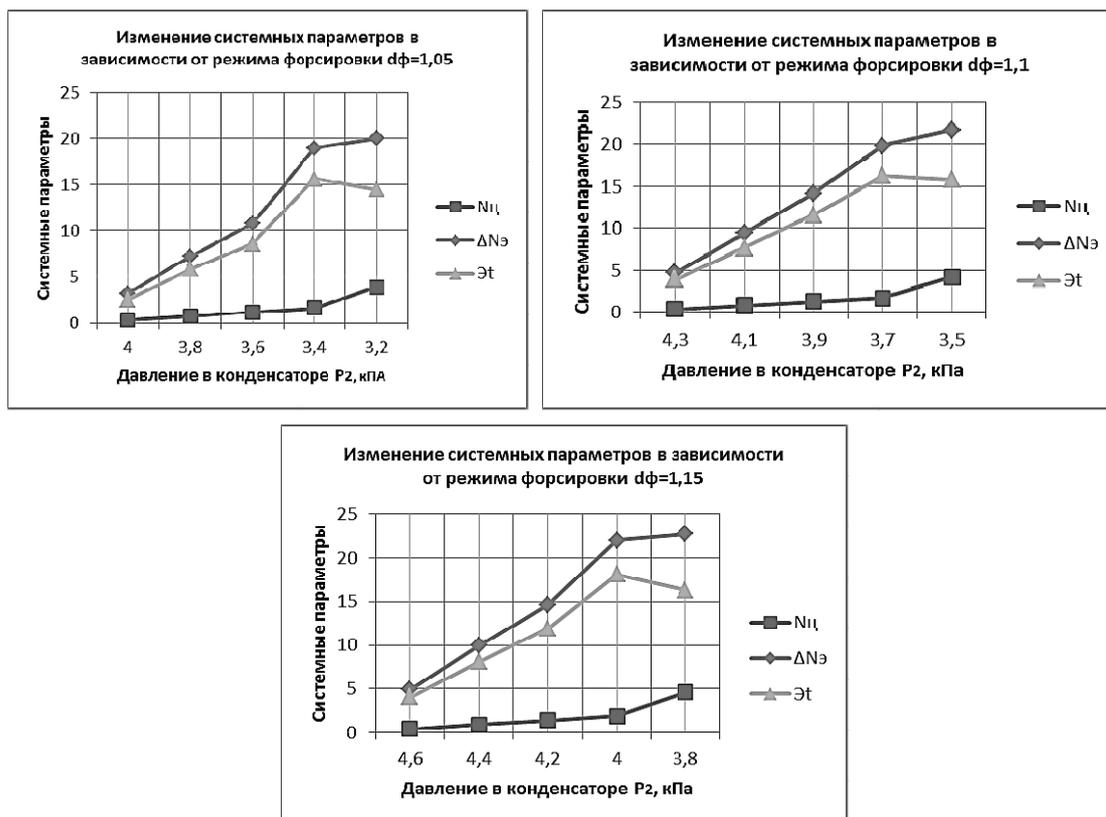


Рис.1. Изменения системных параметров в зависимости от режимов форсировки: $N_{ц}$ – мощность циркуляционного насоса, МВт; $\Delta N_{э}$ – изменение электрической мощности блока, МВт; $\mathcal{E}t$ – эффект от оптимизации, млн. руб./год

Рассмотренные режимы форсировки дают возможность получить прирост электрической мощности блока до 20 МВт. При этом возрастает расход электроэнергии на собственные нужды, увеличивается мощность циркуляционных насосов за счет увеличения расхода охлаждающей воды ($N_{ц} = 3,9\text{--}4,5$ МВт).

Оптимизационные расчёты показали, что на каждом режиме форсировки имеется свой оптимизационный максимум годового экономического эффекта с оптимальным абсолютным давлением в конденсаторе.

Сравнительная зависимость экономического эффекта от давления пара в конденсаторе показана на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что давление в конденсаторе в режиме форсировки $p_{эф}^{опт}$ растёт с увеличением $d_{ф}$, что объясняется повышением удельной нагрузки выходного сечения последней ступени турбоустановки и потери с выходной скоростью. При этом оптимальные значения эксплуатационного вакуума оказываются глубже соответствующих исходных значений $P_{эф}$.

В таблице и на рис. 3 представлена зависимость экономического эффекта от продолжительности работы блока в режиме форсировки от $d_{ф} = 1,1$ до 1,15.

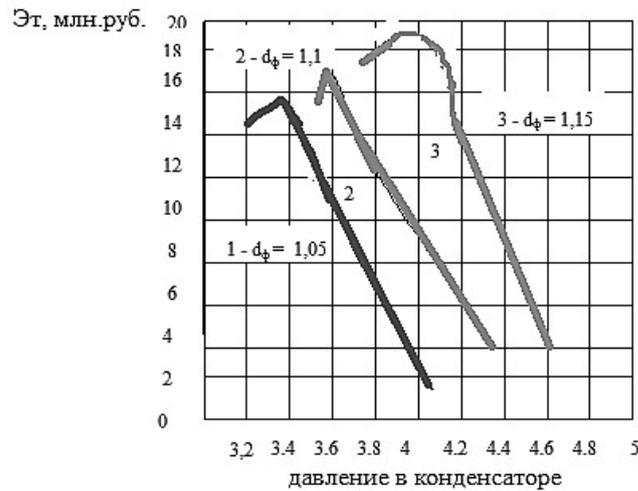


Рис. 2. Зависимости годового экономического эффекта от оптимального давления в конденсаторе

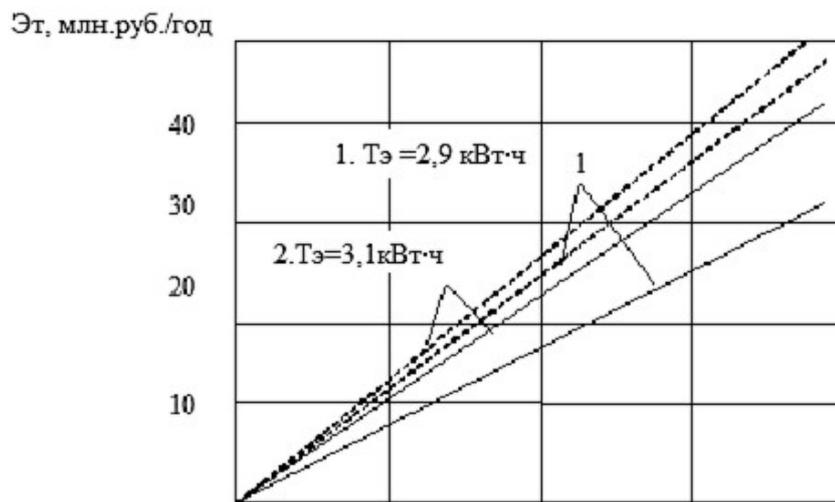


Рис. 3. Зависимость экономического эффекта от продолжительности форсировки и тарифа на электрическую энергию

Изменение максимального годового экономического эффекта в зависимости от продолжительности режима форсировки

Режим форсировки	Тариф на электроэнергию руб. /кВт·ч	Продолжительность форсировки, ч/год			
		500	1000	1500	2000
1,1	2,9	8,1	16,21	24,32	48,64
1,15	2,9	9,57	19,16	28,74	57,48
1,1	3,1	9,90	19,81	29,72	59,45
1,15	3,1	11,70	23,41	35,13	70,26

Как видно из таблицы и рис. 3, с ростом продолжительности режима форсировки τ , увеличивается экономический эффект \mathcal{E}_i от форсировки, что подтверждает экономическую выгоду получения в часы прохождения максимума электрической нагрузки дополнительной пиковой мощности на действующей установке за счет углубления вакуума до экономически оптимальных значений.

В условиях роста мировых цен на органическое топливо, одним из факторов сдерживания роста тарифов на электрическую энергию в энергосистемах, с преобладанием ТЭС, является выравнивание или уплотнение графиков электрических нагрузок энергосистемы. Для покрытия пиковой части графика электрических нагрузок можно использовать и базовые энергоустановки, в том числе энергоблоки АЭС путем их кратковременной форсировки.

Список литературы

1. Электрическая нагрузка энергосистемы // Выравнивание графика, 2008. – № 5(53). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/53/19.php>.
2. Рыжкин В.Я., Тепловые электрические станции / В.Я. Рыжкин. – М.: Энергия, 1976. – 448 с.
3. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций / Трояновский Б.М. – М.: Энергия, 1978. – 232 с.

УДК 621.311.238

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ПГУ 420 МВт

И.А. Ростунцова¹, А.С. Петров

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

E-mail: ¹Rostunzeva@mail.ru

Аннотация. Представлены схемные решения повышения эффективности ПГУ-420 МВт Няганской ГРЭС. Дано описание различных вариантов подачи основного конденсата в котел-утилизатор. Проведена оценка наиболее оптимальной схемы.

Ключевые слова: парогазовая установка, котел-утилизатор, газовый подогреватель конденсата, основной конденсат, деаэрактор, паровая турбина.

Одним из направлений развития энергетики России является широкое внедрение комбинированных парогазовых установок (ПГУ), в которых используется тепло выхлопных газов газотурбинной установки (ГТУ) [1, 2].

Самым крупным инвестиционным проектом в энергетике России и одна из самых мощных тепловых электростанций в мире, работающих на широтах севернее 62° является Няганская ГРЭС. Установленная мощность станции – 1269,8 МВт. В своем составе станция имеет три блока: первый энергоблок мощностью 420,9 МВт, второй – 424 МВт, третий – 424,681 МВт.

Базовым вариантом является тепловая схема блока ПГУ-420 МВт с трехконтурным котлом-утилизатором с промперегревом пара Е-270, включающей расположенные на одном валу: газотурбинную установку SGT5-4000F, паротурбинную установку SST5-3000 с осевым конденсато-

ром SCon1000, турбогенератором SGen5-2000H с водородным охлаждением, вспомогательное общецлочное оборудование и деаэрационной установкой, включенная по основному конденсату после ГПК и питаемая паром от паропровода низкого давления. Схема одновальная силовая установка представлена на рис. 1.

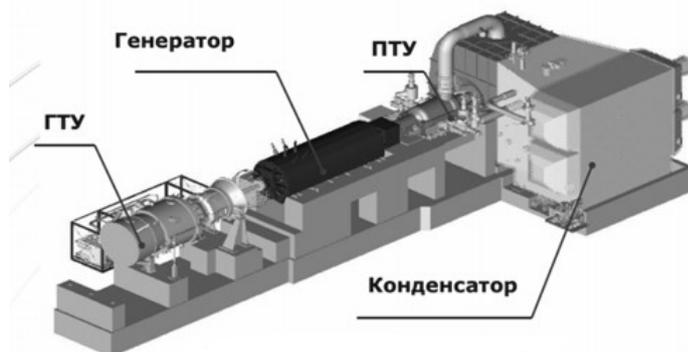


Рис. 1. Компонировка одновального моноблока мощностью 420 МВт, SIEMENS AG

Технические характеристики блока ПГУ 420 МВт по базовому варианту представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики блока ПГУ 420 МВт (базовый вариант)

Характеристика энергоблока	Гарантийные показатели по контракту	Фактические показатели по результатам испытаний	Повышение фактических показателей
Мощность электрическая брутто, МВт	418,4	422,4	+4,0
Мощность потребителей собственных нужд, %	2,1%	1,2%	- 0,9%
Мощность электрическая нетто, МВт	410	417,3	+7,3
КПД брутто, %	58,77	59,5	+0,73%
КПД нетто, %	57,59	58,79	+1,20%
Удельный расход условного топлива брутто, гут/кВт·ч	209,3	206,7	- 2,6
Удельный расход условного топлива нетто, гут/кВт·ч	213,6	209,2	- 4,4
Содержание оксидов азота в уходящих газах, мг/м ³	Не более 50	21,4	- 28,6

Расчетная тепловая схема ПГУ 420 МВт представлена на рис.1. Расчетная тепловая схема включает следующие элементы: газовая турбина 1 со вспомогательными системами производства фирмы «Siemens»; паровая турбина 4, состоящая из цилиндров высокого, среднего и низкого давления

со вспомогательными системами производства фирмы «Siemens»; конденсатор 5 модели SCon1000; общий генератор 2 для газовой и паровой турбины модели SGen5-2000H с системой водородного охлаждения и системой статического возбуждения; вакуумный деаэратор 8.

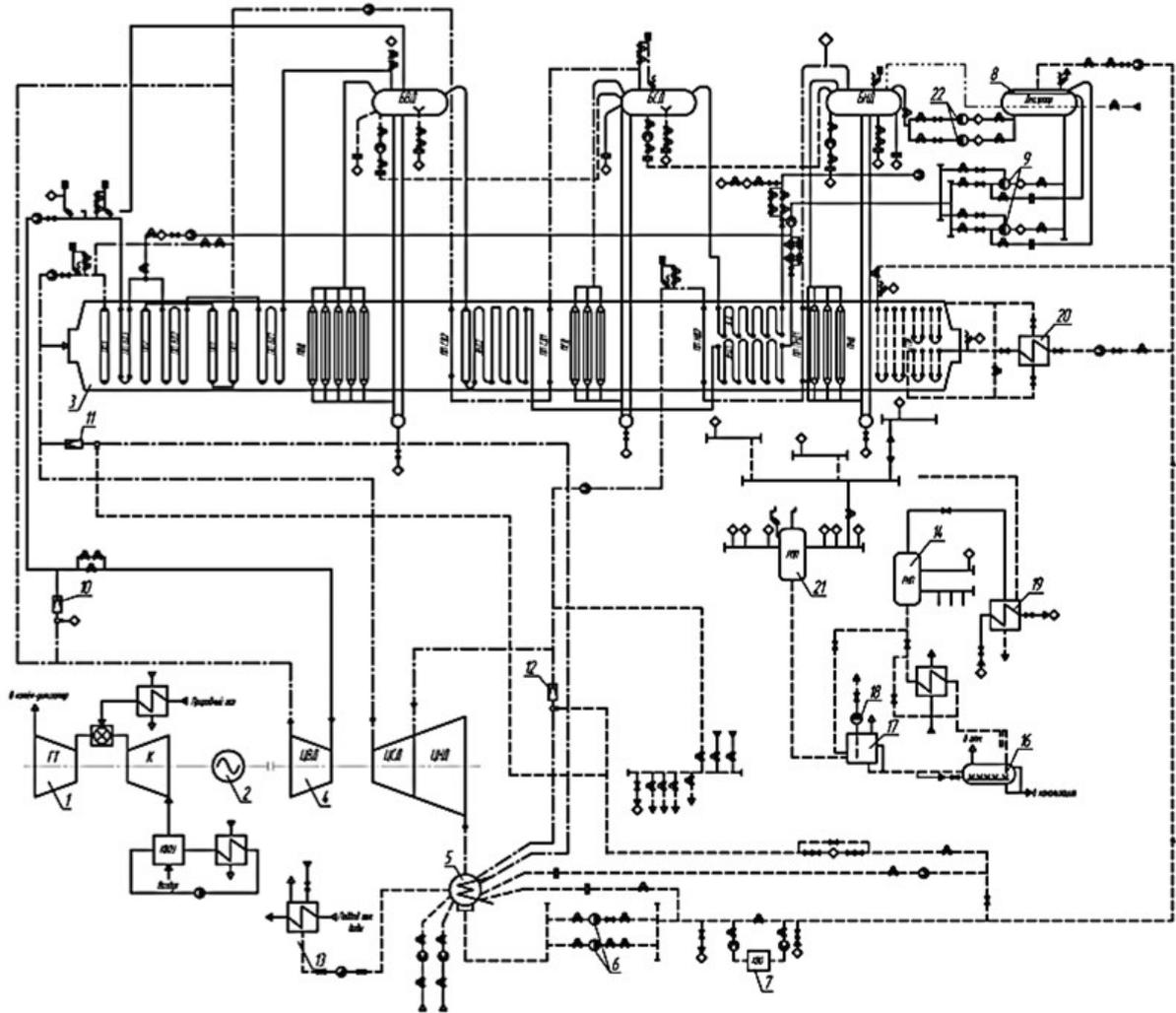


Рис. 1. Расчетная тепловая схема ПГУ 420 МВт с трехконтурным котлом-утилизатором

Работа схемы в режиме нормальной эксплуатации при номинальной электрической нагрузке осуществляется следующим образом: воздух из атмосферы поступает на всас компрессора, компримируется и подается в камеру сгорания газовой турбины, в которую также осуществляется подача природного газа. Образующиеся продукты сгорания направляются в газовую турбину, где расширяясь, производят работу, используемую для привода компрессора и электрического генератора. После газовой турбины уходящие газы в количестве 686,7 кг/с с температурой 581 °С поступают в котел-утилизатор, где отдают тепло в последовательно расположенных по ходу газов поверхностях нагрева следующих контуров: пара высокого давления; систем промперегрева; пара среднего давления; пара низкого

давления. Пар, генерируемый в системе высокого давления котла-утилизатора, с давлением 11,99 МПа и температурой 558 °С по паропроводу «свежего» пара поступает в ЦВД турбины через один, продольно расположенный комбинированный стопорно-регулирующий клапан. Подающее сопло диффузорного типа направляет пар от регулирующего клапана на спиральный вход ЦВД. После промежуточного перегревателя пар с давлением 2,99 МПа и температурой 557 °С по трубопроводу системы горячего промперегрева поступает к ЦСД паровой турбины.

Проведена оптимизация схемных решений существующей тепловой схемы (рис. 1) с получением наиболее эффективного варианта. Схемные решения отличаются подачей основного конденсата в котел утилизатор.

Схема 1. В тепловую схему включается автономный деаэратор повышенного давления, питаемый паром из барабана низкого давления котла утилизатора и установленный после газового подогревателя конденсата (ГПК). Питательные насосы установлены после деаэратора. Осуществляется рециркуляция основного конденсата в ГПК. Выхлопные газы ГТУ поступают в трехконтурный горизонтальный котел-утилизатор, где охлаждаются, проходя последовательно поверхности нагрева. Основной конденсат из конденсатора паровой турбины откачивается конденсатным насосом, проходит БОУ, затем направляется в ГПК котла-утилизатора. После ГПК конденсат подается в деаэратор, откуда питательная вода насосами низкого высокого/среднего давлений подается в барабан низкого давления, экономайзеры высокого и среднего давления. В экономайзер среднего давления питательная вода поступает из промступени питательного насоса высокого/среднего давления. Отработав в ЦВД, пар поступает в трубопровод пара холодного промперегрева. После смешения с паром СД поток направляется на промперегрев. После пароперегревателя среднего давления пар по трубопроводу направляется в паровую турбину.

Схема 2. Включает автономный вакуумный деаэратор, установленный после ГПК. Питательные насосы ВД, СД и НД установлены после ГПК. Отличием данной схемы от схемы, описанной в варианте схемы 1, является использование вакуумного деаэратора. Давление пара в деаэраторе поддерживается 20 кПа, чтобы температура деаэрированной воды составила 60 °С. Деаэрация конденсата в штатном режиме осуществляется перегретой водой после ГПК. Предпусковая деаэрация производится за счет подвода тепла от стороннего источника. Использование данной схемы позволяет заполнить котел-утилизатор перед пуском деаэрированной водой. Основной конденсат из конденсатора паровой турбины откачивается

конденсатным насосом, проходит БОУ, затем направляется в вакуумный деаэратор. Деаэрированная вода поступает в ГПК, где нагревается и подается на питательные насосы высокого/среднего давления. Часть нагретого конденсата подается в вакуумный деаэратор. Расход подаваемого в деаэратор конденсата регулируется регулирующим клапаном так, чтобы поддерживать температуру воды не ниже 60 °С. Подача питательной воды в барабан низкого давления осуществляется из напорного коллектора питательного электронасоса (ПЭН) среднего давления.

Схема 3. В тепловую схему включается автономный вакуумный деаэратор, установленный на выходе из котла-утилизатора. Питательные насосы установлены после деаэрата. Основной конденсат из конденсатора паровой турбины откачивается конденсатным насосом, проходит БОУ, затем направляется в вакуумный деаэратор. Деаэрированная вода поступает в питательный коллектор, откуда направляется в контур деаэрата и на питательный электронасос. Нагретый конденсат подается в вакуумный деаэратор. Расход подаваемого в деаэратор конденсата регулируется регулирующим клапаном. Особенностью данной схемы является расположение поверхностей нагрева в газоходе: экономайзеры высокого и среднего давлений и поверхность деаэрата, в которой нагревается вода вакуумного деаэрата, расположены в одной температурной зоне – на выходе из котла. Подача питательной воды в барабан низкого давления осуществляется из напорного коллектора ПЭН СД.

Схема 4. В тепловую схему включается автономный деаэратор повышенного давления, питаемый паром из барабана низкого давления и установленный после газового подогревателя конденсата. Питательные насосы установлены после деаэрата. Осуществляется регенеративный подогрев основного конденсата в водоводяном теплообменнике (ВВТО). В данном варианте деаэрация происходит в вынесенном деаэрате фирмы Stork. Выхлопные газы ГТУ поступают в трехконтурный горизонтальный котел-утилизатор, где охлаждаются, проходя последовательно поверхности нагрева. Основной конденсат из конденсатора паровой турбины откачивается конденсатным насосом. Нагретый конденсат после первого пакета ГПК поступает в ВВТО, нагревая конденсат из конденсатора до температуры не менее 60 °С. После теплообменника конденсат направляется во второй пакет ГПК. После ГПК недогретый до температуры насыщения конденсат поступает в выносной деаэратор. Пар на деаэрацию отбирается из барабана НД котла-утилизатора. Отработав в ЦВД, пар поступает в трубопровод пара холодного промпрегрева. После смешения с паром СД, пар

направляется на промперегрев. Далее пар по трубопроводу направляется в паровую турбину. Затем пар через стопорные и регулирующие клапана поступает в ЧСД. Пар НД через стопорные и регулирующие клапана поступает в турбину, где, смешавшись с паром СД, проходит ЧНД, после чего отработавший пар сбрасывается в конденсатор паровой турбины.

Анализ представленных выше принципиальных схем проведен путем вариантных тепловых расчетов. Результаты показали следующее:

1. Достоинством первого и четвертого вариантов является использование для деаэрации насыщенного пара из барабана низкого давления. Четвертый вариант не предусматривает рециркуляционные насосы ГПК, вместо них устанавливается регенеративный ВВТО. Для обеспечения надежной работы деаэратора ГПК должен быть оснащен регулируемым байпасом по конденсату.

2. Особенностью второго и третьего вариантов является использование вакуумного деаэратора при давлении пара 20–25 кПа, работающего на нагретом в ГПК конденсате. Эти варианты отличаются от первого и четвертого большей простотой, так как деаэрация конденсата осуществляется перед ГПК.

Наиболее простым и эффективным вариантом является вторая схема – с применением вакуумного деаэратора для штатной работы, а также деаэрации обессоленной воды при работе энергоблока на пониженных нагрузках.

Список литературы

1. Степанов И.Р. Парогазовые установки. Основы теории, применение и перспективы / И.Р. Степанов. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2000. – 706 с.
2. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки / Г.Г. Ольховский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 298 с.

УДК 62.626

К ВОПРОСУ ОБ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ВЕТОЗВУКОВОГО ПОЛЯ

Е.Д. Сараева¹, Ю.С. Гаврилов²

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

E-mail: ¹buka-haha@yandex.ru, ²Gavr10@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены основные вопросы очистки и обеззараживания воды с помощью светозвукового поля.

Ключевые слова: очистка воды, ультразвук, ультрафиолет, химическая безопасность.

Природные воды, которые используют для питьевого и производственного водоснабжения, должны иметь благоприятные органолептические свойства, и быть безопасными в санитарно-эпидемиологическом отношении. Поэтому перед производителями питьевой воды стоит важная задача обеспечения ее эпидемической и химической безопасности, т. е. достаточной очистки и обеззараживания [1].

Технологию, которую хотелось предложить в данной статье, основана на способе обеззараживания жидкостей совместным действием ультразвука и ультрафиолетового излучения (патент РФ № 66328 на полезную модель). Этот способ обладает рядом преимуществ по сравнению с другими существующими технологиями обеззараживания [2].

Основное техническое решение – это использование резонансных частот колебаний самого корпуса установки в ультразвуковой области. Расположенные между узловыми точками колебаний на наружной поверхности корпуса специально подобранные пьезокерамические преобразователи настраиваются на собственную резонансную ультразвуковую частоту колебаний корпуса, имеющую максимальную интенсивность. Соответственно при этом вся внутренняя поверхность трубы корпуса установки превращается в ультразвуковой излучатель, который и образует сплошное ультразвуковое поле переменной интенсивности.

Особое значение имеет именно переменный характер уровня кавитации, так как именно это обеспечивает высокие сдвиговые напряжения, которые разрушают конгломераты микроорганизмов и их оболочки. Причем переменная интенсивность ультразвукового поля обеспечивается как в осевом, так и в радиальном направлениях. Очевидно, что такое ультразвуковое воздействие на конгломераты микроорганизмов успевает их разрушить за доли секунды, а ультрафиолетовое излучение их окончательно обезвредить.

Таким образом, можно говорить об обеззараживании воды в едином светозвуковом поле.

Исследование питьевой воды до и после обработки с помощью светозвукового поля

Показатель	Единица	До обработки	После обработки	Норма
Исследования питьевой воды в посёлке Надеevo				
Колифаги	БОЕ/100 мл.	16	0	0
ОКБ	КОЕ/100 мл.	300	0	0
ТКБ	КОЕ/100 мл.	200	0	0
ОМЧ	КОЕ/1 мл.	40	1	5

Обеззараживающие установки могут быть внедрены на городском водозаборе после всех стадий очистки и осветления перед подачей воды в городскую сеть. Учитывая возможные бреши в трубопроводах связанную с этим опасность вторичного заражения, также рекомендуется ставить установки небольшой мощности на повысительных насосных станциях в районах города.

Список литературы

1. Пырскова А.Н., Зайцева Н.А. Актуальные проблемы обеззараживания и дезинфекции питьевой воды [Электронный ресурс] / А.Н. Пырскова, Н.А. Зайцева // XV–XVI Студенческая международная заочная научно-практическая конференция «Молодежный научный форум: естественные и медицинские науки». – Режим доступа: <https://nauchforum.ru/studconf/med/xv/4338>. – Загл. с экрана.

2. Патент РФ № 66328 на полезную модель. Новотех – ЭКО.

УДК 66.048

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЕШЛАМОВ

А.Н. Сурикова

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

E-mail: alisa-surikova@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены основные вопрос удаления влаги из нефтешламов.

Ключевые слова: блок разделения нефтешламов, выпарная установка, нефтешлам, ресурсосбережение.

Во всем мире ежегодно добывается более миллиарда нефти ежемесячно. В процессе переработки остаются миллионы тонн нефтяных отходов, или нефтешламов. Возможности НПЗ обработки сырой нефти составляют до 85%, в результате чего некондиционные нефтепродукты сливаются в шламохранилища. Фракционное расслоение и диффузия шламов, переполнение амбаров приводят к загрязнению почв и водоемов. Кроме того, разливы отходов могут происходить в транспортных системах и в нефтехранилищах. Сжигание нефтешламов в ректификационных колоннах экономически не целесообразно и приводит к применению многомиллионных штрафных санкций в отношении НПЗ для проведения природоохранных мероприятий и ликвидации ущерба.

С повышением внимания к мировым проблемам окружающей среды, актуальным становится вопрос об утилизации нефтешламов. При этом ресурсосбережение может быть достигнуто путем сохранения ресурсного и энергетического потенциала отходов. С каждым годом появляется все больше новых и инновационных технологий. Например, в основу самых популярных установок легли термический и химический способы, пиролизическое разложение, термовакуумная десорбция, гравитационное разделение. Для достижения экологического и экономического эффекта необходимо возвращать ресурсы нефтешламов в производственный цикл [1].

В последнее время находят применение установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов, называемые блоками разделения нефтешламов (сокращенно БРНШ). В установках БРНШ выпаривание влаги из маслосодержащей эмульсии происходит несколько иначе, чем из водного раствора в обычных выпарных установках, где, как правило, имеют место процессы кипения растворов. Исследование публикаций и патентов в представленной области выявили, что технологические процессы обработки нефтешламов недостаточно изучены как в методичном так и в аппаратном плане. Связано это с тем, что данные установки появились сравнительно недавно и работают весьма неэффективно [2].

Таким образом, была разработана методика теплового расчета БРНШ, предложены мероприятия по повышению эффективности установки в 6-7 раз. Популяризация таких установок по разделению нефтешлама даст возможность нефтеперерабатывающим, автосервисным, авиационным и энергетическим предприятиям самостоятельно перерабатывать шламы и использовать в работе основного оборудования предприятия (топливо, смазочные материалы и т.д.). Это позволит избежать платы за загрязнение окружающей среды, сэкономит ресурсы и энергию.

Список литературы

1. Шпербер Е. Р., Боковикова Т.Н., Шпербер Д.Р. Источники образования нефтешламов и методы их утилизации // Химия и технология топлив и масел, 2011. – № 2. – С. 53–56.
2. Лукин С.В., Сеницын Н.Н., Сурикова А.Н. Тепловой расчет установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов // Вестник Череповецкого государственного университета, 2015. – № 4(65). – С. 33–37.

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КОТЛОВ ПТВМ-120 В МП ТРЕСТ «ТЕПЛОФИКАЦИЯ», г. МАГНИТОГОРСК

Н.И. Хайрзаманов¹, А.С. Сарваров²

Ф Г Б О У В О «М Г Т У и м. Г.И. Н о с о в а», г. Магнитогорск
E-mail: ¹rndnikich.ser@gmail.ru, ²anvar@magtu.ru

Аннотация. Приведено краткое представление технологического процесса производства тепла в котлах горячей воды для систем городского отопления и выделены проблемы связанные с регулированием теплопроизводительности. Проведено сравнение котлов ПТВМ-120 и КВГМ-100 по составу оборудования и вытекающими из этого возможностями регулирования при условии реализации энергоэффективного сжигания топлива. С учетом особенностей конструкции котла ПТВМ показана целесообразность в условиях МП трест «Теплофикация» осуществлять ступенчатое регулирование теплопроизводительности, при этом требуемая частота включения горелок при суточном изменении температуры может быть обеспечена тиристорными устройствами плавного пуска асинхронных двигателей (АД). Их применение способствует решению задач энерго- и ресурсосбережения в дутьевых вентиляторах индивидуального назначения. Приведены расчетные осциллограммы пусковых режимов АД, в которых наглядно отражена возможность устранения колебательности пусковых моментов и существенного ограничения ударных моментов. В качестве примера приведен вариант построения схемы питания группы электроприводов дутьевых вентиляторов при внедрении пускового устройства.

Ключевые слова: дутьевой вентилятор, горелка, дымосос, сжигание газа, соотношение «газ-воздух», теплопроизводительность, регулирование, пуск асинхронных электроприводов, ограничение ударных пусковых моментов.

Газифицированная Пиковая котельная в г. Магнитогорске введена в эксплуатацию в 1976 г. для отопления вновь строящихся жилых домов в южной части города. К настоящему времени после ряда реконструкций в эксплуатации находятся два котла ПТВМ-120 и два котла КВ-ГМ-100. Последние были усовершенствованы внедрением частотного управления электроприводами дутьевых вентиляторов горелок и дымососов, а в котлах ПТВМ-120 продолжает сохраняться регулирование производительности подачи воздуха дроссельными заслонками. В настоящее время возникла задача проанализировать дальнейшие пути модернизации электроприводов дутьевых вентиляторов котлов ПТВМ и оценить целесообразность внедрения в них полупроводниковых преобразователей.

При выработке тепловой энергии эффективность сжигания топлива, как известно, зависит от соотношения «газ-воздух» и условий горения (разряжение в топке, тяга). Качественная картина содержания компонентов продуктов сгорания и КПД котлоагрегатов от коэффициента, характеризующего данное соотношение, приведена на рис. 1 [1].

В целях повышения эффективности сжигания топлива коэффициент α (соотношение смеси «воздух — газ», подаваемой в горелки) должен поддерживаться в довольно узкой области на грани появления CO. В диапазоне оптимального соотношения «газ-воздух» $\alpha_{\text{опт}}$ достигается полное сгорание газа, минимальный выброс тепла в атмосферу и соответственно главный показатель – максимальное КПД котла.

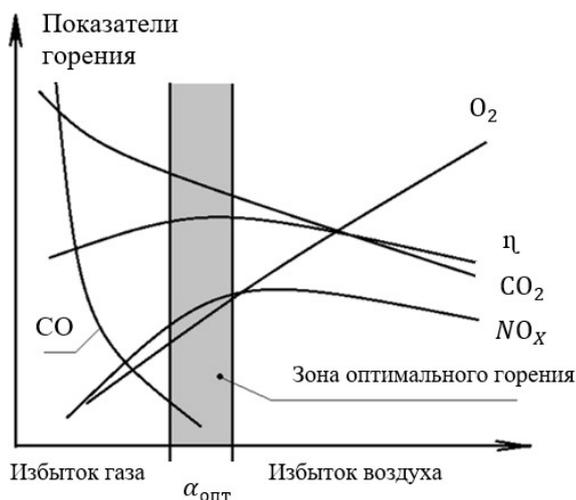


Рис. 1. Зависимости показателей горения от соотношения «газ-воздух»

Согласно, технологической схеме (рис. 2), в которой показаны устройства, обеспечивающие эффективное горение газа в топке котла, оптимальную величину $\alpha_{\text{опт}}$ обеспечивают регулирующие клапаны 2 (газ) и 6 (воздух).



Рис. 2. Технологическое оборудование котла (упрощенная схема)

В каждой из конструкций котлов заложены свои возможности для достижения величины $\alpha_{\text{опт}}$. В табл.1 приведены отдельно выбранные характеристики котлов ПТВМ-120 и КВ-ГМ-100 [2,3], по которым можно провести сравнительную оценку возможности данных котлов по регулированию теплопроизводительности в зависимости от сезонной потребности в тепловой энергии, а также обеспечение регулирования по погодным условиям, включая также суточное изменение температуры окружающей

среды. В отопительный период установленная тепловая мощность котлов используется на 80–100%, а в летний период теплопотребление снижается до 20–25%. При этом минимальная теплопроизводительность котлов может оказаться завышенной при отсутствии регулирования в электроприводах тягодутьевых машин. Многолетний опыт эксплуатации выявил проблему летнего теплоснабжения, которая заключается в избытке минимальной мощности котлоагрегатов. В этом случае температура обратной воды может превысить допустимую.

Во всем диапазоне теплопроизводительности котла достижение величины $\alpha_{\text{опт}}$ возложено на автоматику, воздействующую на регулирующие клапана подачи газа и воздуха в соответствии с данными, приведенными в режимных картах. При этом основными параметрами являются давление газа и воздуха перед горелками.

Основные характеристики котлов по составу оборудования

№ п/п	Основные характеристики	Тип котла	
		ПТВМ-120	КВГМ-100
1	Количество котлов, шт,	2	2
2	Количество горелок, шт.	16	3 (4)
3	Минимальное количество работающих горелок, шт.	4	2
4	Количество дутьевых вентиляторов / мощность электродвигателя, кВт	16/15	2/125 (160)
5	Установленная мощность дутьевых вентиляторов, кВт	240	250 (320)
6	Количество дымососов / мощность электродвигателя, кВт	естественная тяга	1/250
7	Диапазон регулирования теплопроизводительности по отношению к номинальной, %	30–100	25–100

Электроприводы механизмов вентиляторного типа содержат в себе значительный резерв экономии электроэнергии. В отдельных случаях эффект энергосбережения за счет внедрения частотного регулирования может достигать 30–40%. Применительно к дутьевым вентиляторам и дымососам следует тщательно исследовать возможность применения частотного регулирования для решения задач энерго- и ресурсосбережения.

Анализируя, выше представленные характеристики котлов, следует отметить ряд принципиальных отличий:

– в котлах ПТВМ количество горелок в 4 раза больше, чем в котлах КВГМ;

– в котлах ПТВМ каждая горелка оснащена своим дутьевым вентилятором, т.е. осуществляется индивидуальное дутье, а подача воздуха в котлы КВГМ осуществляется двумя дутьевыми вентиляторами;

– котлы ПТВМ подключены к естественной тяге, а котлы КВГМ оснащены дымососом;

– минимальная теплопроизводительность котлов составляет 30% для котла ПТВМ и 25% для КВГМ.

Многогорелочный котел ПТВМ является наиболее сложным по своим конструктивным отличиям [1]. Возможности регулирования качества горения ограничены конструкцией котла: невозможно регулировать соотношение воздуха и газа в каждой горелке индивидуально, а количество воздуха не регулируется вообще. Еще одна важная особенность котла ПТВМ заключается в том, что все горелки разбиты на четыре группы и в каждой группе одна горелка является растопочной [3], т.е. четыре горелки являясь растопочными, должны находиться постоянно в работе. Регулирование давления газа возможно только одновременно в общем канале подачи газа перед всеми горелками. На рис. 3. показана схема расположения горелок котла ПТВМ-120 и дутьевых вентиляторов.

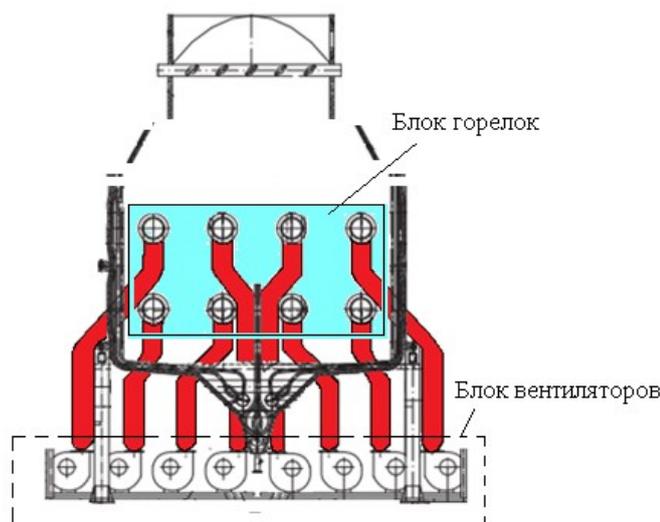


Рис. 3. Расположение горелок котла ПТВМ-120

Как уже ранее отмечалось, рассматриваемый котел оснащен шестнадцатью горелками (по восемь с каждой стороны) и соответственно шестнадцатью вентиляторами ВЦ-14, каждый из которых приводится во вращение асинхронным электродвигателем АИР160S4 мощностью 15 кВт. Таким образом, каждая горелка снабжена индивидуальным дутьевым вентилятором.

Необходимо отметить, что рассматриваемые котлы проектировались для случая применения нерегулируемого электропривода дутьевых вентиляторов и дымососов. В этой связи до настоящего времени широко распространенным способом регулирования качества горения является ручное

дистанционное воздействие на дроссельные устройства 2, 6 и 12 (рис. 2). При этом оператор осуществляет визуальный контроль основных регулируемых параметров по приборам: давление газа P_g и воздуха P_v , разрежение в топке $P_{\text{разр}}$. Указанные параметры задаются и корректируются в соответствии с режимной картой. Таким образом, регулирование мощности котла ПТВМ выполняется как регулятором газа расположенном на общем участке газопровода котла, так и количеством подключенных горелок. Включение каждой горелки дает повышение температуры на выходе котла на пять градусов, а включается всегда пара горелок [1].

Опыт внедрения частотного регулирования для тягодутьевых вентиляторов в котлах КВГМ показал, что при ручном дистанционном воздействии на дроссельные устройства, эффект энергосбережения в период разгрузки по теплопроизводительности не превышает 10%. Электротехнический персонал в этом случае обращает внимание на другую немаловажную сторону применения частотных преобразователей, а именно на возможность осуществления плавного пуска вентиляторов.

Принимая во внимание, что в котлах ПТВМ предусмотрена возможность ступенчатого регулирования теплопроизводительности за счет изменения количества горелок, а именно при постоянной работе четырех растопочных горелок, возможно отключение/подключение попарно дополнительных горелок, можно выделить ступени одновременной работы от шести до шестнадцати горелок. Таким образом, котел может реализовать семь ступеней регулирования. В настоящее время пуск дутьевых вентиляторов осуществляется прямым подключением двигателей к питающей сети.

Асинхронный двигатель (АД), как известно, при пуске и переключениях в статорной цепи развивает значительные по величине электромагнитные моменты колебательного характера. Возникающие механические напряжения в звеньях кинематической цепи снижают показатели надежности системы электропривода и его эксплуатационный ресурс. Исследования многих авторов по проблеме ограничения амплитуд ударных пусковых моментов, обобщены в [5], где отмечается, что для снятия колебательной составляющей пускового момента достаточно на начальном этапе пуска осуществить в ТПН кратковременное регулирование угла управления α (в течение нескольких периодов питающего напряжения). Для наглядности на рис. 4 приведены расчетные осциллограммы, показывающие качественную картину пускового процесса АД [6].

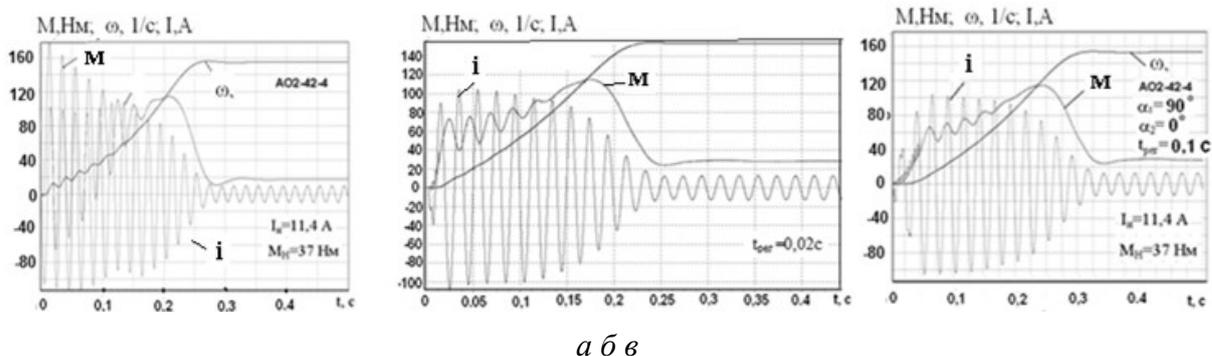


Рис. 4. Расчетные осциллограммы пускового процесса АД при различных условиях: прямой пуск (а) и пуск с линейным изменением угла α (с $\alpha_{\text{нач}} = 90^\circ$ до $\alpha_{\text{кон}} = 0^\circ$) за время 0,1 с (б) и 0,01 с (в)

Современные устройства плавного пуска могут обеспечить любые пусковые режимы, как с ограничением пускового тока, так и без ограничения. При ограничении пускового тока длительность процесса пуска затягивается, что негативно сказывается на температурном режиме тиристорov в устройстве плавного пуска. Данный недостаток устраняется, если применить пусковое устройство с ограничением длительности регулирования и соответственно подключенного состояния ТПН. Из осциллограмм приведенных на рис. 4 видно, что за время регулирования 1–5 периодов питающего напряжения можно практически снять колебательную составляющую пускового момента, сохранив темп пуска при прямом включении АД в сеть. При этом тепловая нагрузка на тиристорах существенно снизится, что способствует повышению надежности пусковых устройств.

Варианты модернизации с применением пусковых устройств (ПУ) могут быть различными в зависимости от условий, связанных с подводом электропитания. На рис. 5 приведен простейший вариант подключения пусковых устройств в общую схему питания, позволяющий с помощью одного или двух ПУ, осуществлять поочередно «мягкий» пуск асинхронных электроприводов вентиляторов горелок котла ПТВМ-120.

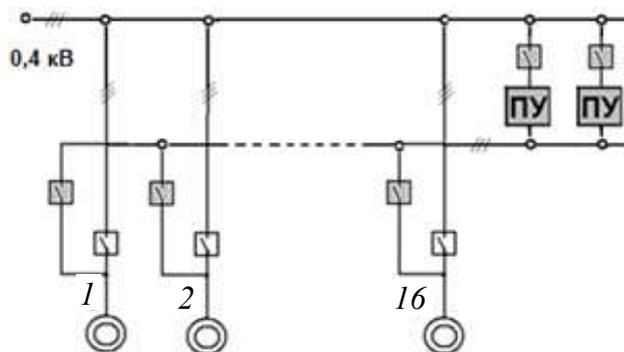


Рис. 5. Однолинейная схема питания группы электроприводов для реализации поочередного пуска вентиляторов

Следует отметить, что приведенная схема не учитывает всех особенностей, связанных с последовательностью включения горелок, необходимостью реализации парного пуска при включении двух горелок, а также другими местными условиями. Данная схема отражает лишь принцип реализации пускового процесса, суть которого заключается в следующем: на начальном этапе пуска двигатель получает питание от ПУ (это может быть интервал времени $t_{\text{пер}}$), а затем производится подключение АД непосредственно к питающей сети.

Список литературы

1. Частотно-регулируемый электропривод в теплотехническом хозяйстве города: монография / Крылов Ю.А., Карандаев А.С., Храмшин В.Р., Храмшин Р.Р. – Магнитогорск: Из-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 201 с.

2. URL: http://bzeo.ru/catalog/tipa_ptvm.

3. URL: http://www.bikz.ru/news/catalog_vk.pdf.

4. URL: https://gazovik-gas.ru/katalog/articles/gasovoe_oborudovanie_kotelnoi/

5. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

6. Вечеркин М.В. Возможности трансформаторно-тиристорной структуры как пускового устройства высоковольтных асинхронных двигателей / М.В. Вечеркин, М.Ю. Петушков, А.С. Сарваров // Вестник Ивановского государственного технического университета. – Вып. 1. – 2013. – С. 88–91.

УДК 532.546

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ В МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ КОНВЕКЦИИ

А.С. Хисматуллин¹, А.Р. Камалов, Э.А. Имангулов

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

E-mail: 1hism5az@mail.ru

Аннотация. В статье предлагается применить элегаз для охлаждения силовых масляных трансформаторов. Результаты исследований показывают, что при пропуске элегазовых пузырьков через трансформаторное масло происходит возрастание коэффициента эффективной теплопроводности, связанный с трансилляторным переносом тепла. Предлагаемый метод интенсификации системы охлаждения за счёт увеличения коэффициента переноса тепла в масле позволяет повысить эффективности системы охлаждения силовых масляных трансформаторов.

Ключевые слова: теплопроводность, коэффициент теплопроводности, силовой масляный трансформатор, температура, тепловой поток, система охлаждения.

Интенсификация процесса теплообмена заключается в том, что теплоем с нагревающегося масла в трансформаторе осуществляется за счёт циркуляции барботируемого элегаза, закачиваемого в масляный бак трансформатора компрессором [1–4]. После этого элегаз проходит через систему фильтров, удерживающих частицы масла, захваченные всплывающими пузырьками, а затем, пройдя систему очистки и охлаждения, повторяет рабочий цикл.

В теоретических исследованиях для определения эффективного коэффициента трансцилляторного переноса тепла использован метод Зельдовича, дополненный методом редукции к эквивалентному интегродифференциальному уравнению при определении температурного поля.

Результаты исследований показывают, что при пропускании элегазовых пузырьков через трансформаторное масло происходит возрастание коэффициента эффективной теплопроводности связанный с трансцилляторным переносом тепла.

Предлагаемый метод интенсификации система охлаждения за счёт увеличения коэффициента переноса тепла в масле позволяет повысить эффективности системы охлаждения силовых масляных трансформаторов.

В работе [5] предлагается способ повышения эффективности системы охлаждения трансформаторов, основанный на пропускании через трансформаторное масло пузырьков элегаза. Большое значение коэффициента теплового расширения элегаза способствует образованию конвективных потоков, перераспределяющих неоднородности теплового поля в объеме трансформаторного масла [6-11]. Конвективный перенос тепла в поле скоростей всплывающих пузырьков может быть представлен в виде потока, эквивалентного молекулярному. Это является следствием замкнутости потока, поскольку средний конвективный массоперенос за характерный период колебаний равен нулю.

Список литературы

1. Nigmatulin R.I., Filippov A.I., Khismatullin A.S. Transcillatory heat transfer in a liquid with gas bubbles // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2012. – Т. 19. – С. 589.
2. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A. Ultrasonic unit for restoring oil wells // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2009. – Т. 45. – № 3–4. – С. 133–137.
3. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2015. – Т. 125. – С. 201–208.

4. Баширов М.Г., Грибовский Г.Н., Галлямов Р.У., Гареев И.М., Хисматуллин А.С. Рекомендации по повышению надежности электроснабжения промышленной площадки линейно-производственного управления магистральных газопроводов // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 2 (31). – С. 23–26.

5. Камалов А.Р., Хисматуллин А.Г., Хайруллина Д.Д., Хисматуллин А.С. Повышение эффективности охлаждения силовых масляных трансформаторов при помощи элегаза // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. – № 1. – С. 54–56.

6. Кривоконева О.О., Кудояров Р.И., Мавлекаев Е.Ю., Коныс Е.М., Прахов И.В., Хисматуллин А.С. Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 60–66.

7. Филиппов А.И., Хисматуллин А.С., Мухаметзянов Э.В., Леонтьев А.И. Тепловой трансциллятор бегущей волны // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2011. – № 1. – С. 78–86.

8. Хисматуллин А.С., Вахитов А.Х., Феоктистов А.А. Система охлаждения трансформаторного масла на основе трансцилляторного переноса тепла // Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. – № 4. – С. 43–46.

9. Хисматуллин А.С., Вахитов А.Х., Феоктистов А.А. Мониторинг и ремонт промышленных силовых трансформаторов по техническому состоянию // Современные наукоемкие технологии. 2016. – № 4–2. – С. 271–274.

10. Хисматуллин А.С., Хисматуллин А.Г., Камалов А.Р. Исследование теплопереноса в промышленных силовых трансформаторах с элегазовым охлаждением // Экологические системы и приборы, 2017. – № 2. – С. 29–33.

11. Хисматуллин А.С., Сураков М.Р., Сынтимиров А.А. Повышение охлаждения масляных силовых трансформаторов путем барботажа пузырьков элегаза // Инженерная физика, 2017. – № 6. – С. 27–31.

УДК 502.174.3

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

П.А. Хлюпин¹, Т.Р. Хабибуллин²

ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа

E-mail: ¹khlpinpa@mail.ru, ²timur.hub96@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена разработке алгоритма создания ветрогенерирующей установки с применением нанотехнологий.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, энергия ветра, ветрогенераторы, нанотехнологии, облегченная конструкция, электрогенератор.

Ветер является одним из самых доступных источников энергии. Еще в глубокой древности, 1000 лет до нашей эры, человек начал использовать энергию ветра [1]. История Европейской ветроэнергетики начинается с ветряной мельницы в 1180 году [1]. Его преимущество над солнечной энергетикой в том, что выработка электроэнергии может производиться в ночное время [2].

Эффективность применения ветрогенераторных установок в местах со слаборазвитой электроэнергетической инфраструктурой, в труднодоступных районах, где нет линий электропередач, а завозить топливо для генерирующих установок не всегда представляется возможным.

Анализ показал, что наиболее благоприятными для выработки электроэнергии с помощью ветрогенераторных установок являются прибрежные районы, где среднегодовая скорость ветра от 6 м/с [3]. Россия обладает большими ветровыми ресурсами благодаря большой территории и выходу к морям, среди которых можно выделить восточные и северо-западные берега, а так же на южной части Европейской России.

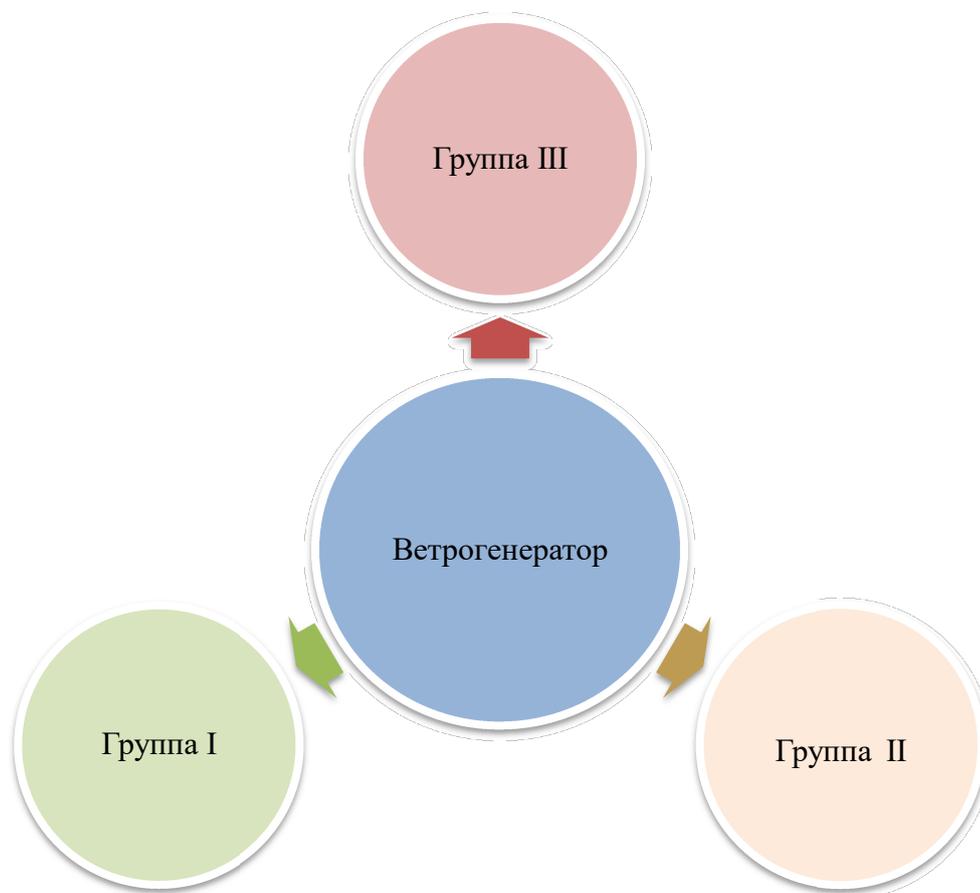


Рис. 1. Ветроэнергетические установки: группа I – ветродвигатели карусельного, роторного и барабанного типов; группа II – двигатели крыльчатой конструкции; группа III – ветроагрегаты нестандартной конструкции

Благодаря конструкции рабочего ветроколеса ветрогенераторы первой группы имеют низкую стоимость и являются простыми в эксплуатации. Недостатки – малый коэффициент использования энергии ветра и тихоходность [4].

Ветрогенераторы второй группы из-за своей конструкции относятся к быстроходным и являются более эффективными, так как вращающий момент создается за счет аэродинамических сил, возникающих на лопастях рабочего ветроколеса. Недостатком является необходимость ориентации ветроколеса, так что бы плоскость, в которой вращающиеся лопасти находились перпендикулярно воздушному потоку, для этого применяют крылья-стабилизаторы или поворотные механизмы [4]. Обладают повышенным шумом [1]. Необходима точная балансировка лопастей, особенно в двухлопастных ветрогенераторах [1].

Ветрогенераторы не вошедшие в первую и вторую группы можно отнести к ветроагрегатам нестандартной конструкции – группа III. К ним можно отнести ветрогенераторы работающие от искусственно созданного ветра, образующегося внутри вертикальной трубы. Так как атмосферное давление у поверхности земли отличается от давления на высоте, то в вертикальной трубе возникает воздушный поток, который стремится выровнять давления между концами трубопровода [5]. Необходимая скорость воздуха может быть достигнута, увеличивая высоту трубы, диаметр, или искусственным методом (подогрев воздуха в нижней части трубы). Подогрев воздуха можно обеспечить с помощью солнечной энергии, данным направлением занимается Австралийская компания EnviroMission [6].

Принцип работы ветрогенератора заключается в том, что механическая энергия ветроколеса преобразуется в электрическую энергию посредством синхронного генератора с редуктором, для регулирования скорости вращения вала генератора. Применение ветрогенераторов в районах, где среднегодовая скорость ветра менее 6 м/с требует применения генераторов с большим числом пар полюсов, что ведет к увеличению массы и снижению КПД всей энергоустановки [7].

Снижению массогабаритных показателей многополюсных генераторов будет способствовать применение нанотехнологий на стадии изготовления базовых элементов.

Авторами предлагается разработать алгоритм создания энергоэффективной нанотехнологичной ветрогенераторной установки учитывающий требования к выходной мощности $P_{\text{вых}}$, скорости вращения n и выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Основные разделы алгоритма:

1. Расчет электрических параметров генератора ветроэнергетической установки с учетом требуемой выходной мощности.

2. Определение массогабаритных показателей с учетом рассчитанных энергетических показателей и с применением нанотехнологий.

3. Расчет требуемой конструкции ветротурбины с учетом ветровой нагрузки и выбор исполнения ветроколеса I, II или III группы.

Разделы алгоритма тесно связаны друг с другом (рис. 2), изменение одного из них, ведет к изменению других и влияет на эффективность всей установки. Каждый параметр должен быть рассчитан с максимальной эффективностью.

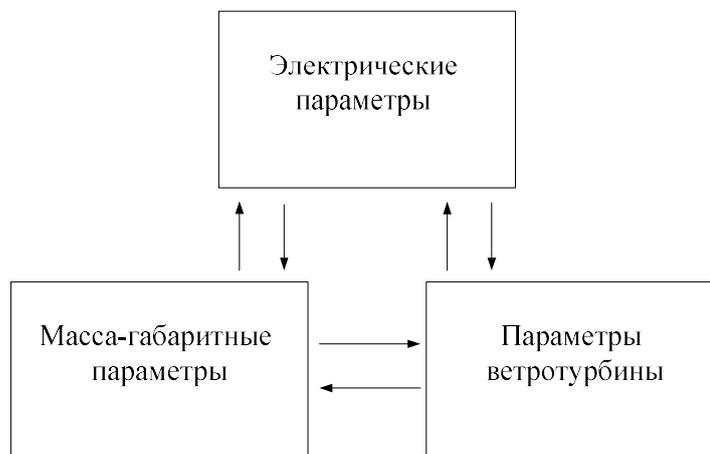


Рис. 2. Взаимосвязь параметров ветроэнергетической установки

Список литературы

1. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев: Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосмический. Ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. Нац. Техн. ун-т, 2004. – 12 с., 120–123 с.

2. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции / А.П. Кашкаров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 38 с.

3. Присяжнюк И. Ветряки / И. Присяжнюк // Журнал «САМ», 2010. – №5. – 10–12 с.

4. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 78–88 с.

5. Пат. 2452870 РФ, МПКF03D 3/04. Аэротермоэнергетическая установка. С. 1.

6. Reid Smith and Lisa Cohn, Tall and visionary // Журнал «Sun & Wind Energy», 2011. – № 10. – 24–28 с.

7. Ян Наинг Мьинт. Исследование возможностей совершенствования электромашинных преобразователей для машинно-электронных генерирующих систем автономных объектов: 05.09.03. – Электротехнические комплексы и системы, 2014. – Москва. – 16–21с.

УДК 620.19

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

И.Г. Хуснутдинова¹, Р.Д. Биткулов², Э.М. Баширова³

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

E-mail: ¹ilvina011@mail.ru, ²rou.strat@mail.ru, ³bashirova-elmira@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные конструктивные особенности электромагнитно-акустического преобразователя (ЭМАП). Кратко рассмотрены основные элементы ЭМАП и рекомендации по их оптимальному исполнению. Предлагается применение электромагнитно-акустического преобразователя для оценки степени напряженно-деформированного состояния металлических элементов электроэнергетического оборудования.

Ключевые слова: конструкция ЭМАП, магнит, катушка, экран, микроконтроллер, усилитель высоких частот, передаточная функция.

Разработка и совершенствование бесконтактных методов контроля металлических конструкций является приоритетной задачей. В особенности методы контроля, использующие ультразвук для оценки состояния металла, измерения его толщины и поиска трещин, очень необходимы для отечественной промышленности, в особенности для нефтегазовой отрасли.

Традиционная ультразвуковая методика с применением пьезопреобразователей (ПЭП), наряду с множеством преимуществ по сравнению с другими неразрушающими методами контроля (радиационным, магнитным, оптическим, вихретоковым и др.) обладает своими недостатками, в особенности необходимость поддерживать хороший акустический контакт излучающей поверхности ПЭП с поверхностью контролируемых изделий [1].

Важным же преимуществом метода ультразвукового неразрушающего контроля с применением электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) является возможность осуществлять измерение бесконтактно, без использования согласующих сред, с высокими скоростями и даже при наличии грубых, шероховатых поверхностей изделий.

Основными элементами ЭМАП являются: магнит с большим значением магнитной индукции и катушка или катушки, расположенные по отношению друг к другу различным образом.

Генерирование ультразвуковых колебаний осуществляется за счет взаимодействия вихревого электрического поля заданной поляризации, которое возбуждает в токопроводящей среде токи Фуко, с постоянным магнитным полем в токопроводящих объектах.

Магнит служит для создания сильного магнитного поля. В большинстве ЭМАП применяются постоянные магниты. Они дешевле, проще в эксплуатации, надежны и не требуют специальной электрической системы подмагничивания, но они громоздки. Так как у постоянного магнита с расстоянием ослабляется индукция, следовательно, с увеличением зазора характеристики ЭМАП будут падать. Целесообразнее применение неодимовых магнитов, но они настолько сильно притягиваются к ферромагнитным объектам контроля, что есть трудности в их перемещении при малых зазорах. Поэтому в последнее время все чаще используют электромагниты, которые свободны от указанного недостатка [2]. Их применение оправдано благодаря возможности изменения магнитной индукции, как дополнительной возможности регулирования ЭМАП.

При конструировании ЭМАП с постоянными магнитами возникают трудности с выбором магнита: однополюсного или двухполюсного. Так, при использовании однополюсных плоских магнитов не всегда удается получить большие индукции, что в значительной мере понижает амплитуды излучаемых и принимаемых ими акустических сигналов. В то же время с помощью двухполюсных магнитов индукция постоянного магнитного поля может быть существенно повышена, однако однородность этого поля оказывается невысокой. И данное обстоятельство ухудшает направленные характеристики излучения и приема ЭМАП.

Катушка применяется для создания вихревого электрического поля заданной поляризации, которое возбуждает в токопроводящей среде токи Фуко. Существуют различные конструкции катушек ЭМАП. Основными являются: спираль, двойная спираль и меандр. Наиболее распространенным является катушка в виде спирали. В этом случае ЭМАП излучает и принимает поперечные, радиально поляризованные акустические волны. Его преимуществами являются сравнительно высокая чувствительность, широкополосность, надежность и неплохая направленность. К недостаткам можно отнести способность работать только по нормали к поверхности

контроля, невысокая чувствительность к дефектам, в результате чего такие преобразователи нашли применение в толщинометрии, но не нашли применения в дефектоскопии. Также есть случай использования катушки в виде двойной спирали [3].

Основным критерием выбора типа катушки является его способность к излучению высокочастотных колебаний (до 10 МГц). В данном случае плоские катушки более целесообразно выполнять на текстолите. Причем информативные данные могут быть получены при использовании катушек, изготовленных из фольгированного стеклотекстолита способом травления, а применение для печатных катушек фольгированного фторопласта позволяет не только увеличить частотный предел, но и уменьшить паразитные емкости [4]. Для дальнейшего анализа сигналов необходимо сведение к минимуму таких искажений.

Более рационально расположение катушек в паре, например спиральных, один под другим, что при их противофазном подключении обеспечивает генерацию SV-поляризованных (вертикально) волн и SH-поляризованные (горизонтально) волн. Такое подключение называется «меандр». Причем от количества меандр зависит точность и усиление акустических волн [1].

Основные характеристики катушек делятся на две взаимосвязанные группы параметров:

- конструктивно-технологические (ширина рабочей зоны C , мм; длина рабочей зоны D , мм; шаг проводников в рабочей зоне катушки t , мкм; количество витков W);
- электрические (индуктивность катушки L , мкГн; активное сопротивление катушки R , Ом).

В работе [4] авторы рассматривают катушки индуктивности ультразвукового преобразователя на плате из диэлектрика, однослойную или многослойную, содержащую одну или несколько секций, отличающаяся тем, что катушка индуктивности, изготовленная вручную или печатным методом, например, из полиимида фольгированного, выполнена в виде двух симметричных эллипсовидных лепестков с шириной рабочей зоны C , удовлетворяющей соотношению $1 < C < 25$ мм, и длиной рабочей зоны D , удовлетворяющей соотношению $3 < D < 40$ мм, с количеством витков W , удовлетворяющим соотношению $5 < W < 100$, с шагом t , удовлетворяющим соотношению $0,15 < t < 1,2$ мкм, или в виде правильного многоугольника с параметрами рабочей зоны, удовлетворяющей соотношениям: $1,5 < C < 20$ мм; $2,5 < D < 25$ мм; $10 < W < 100$; $0,05 < t < 1,8$ мкм [5].

Пример индуктора в виде двух симметрично расположенных эллипсов представлен на рис. 1.

Экран служит для отражения вихревого электромагнитного поля, создаваемого катушкой, с целью увеличения его полезной составляющей, понижения уровня акустических шумов, идущих от магнитопровода, и управления направленностью излучаемого звука. Для экрана справедливо следующее: чем меньше расстояние от экрана до токопровода, тем больше оказывается амплитуда излучаемой им электромагнитной волны и тем выше, чем ниже частота.

Для генерации акустических колебаний на катушки подается определенный сигнал. Наибольшую чувствительность контроля обеспечивают сигнал в форме затухающей синусоиды и импульсный сигнал. Для их генерации наиболее целесообразно применение программируемых микроконтроллеров. При этом они обеспечивают возможность задания необходимой частоты, изменения формы сигнала. Таким образом, часть конструкции ЭМАП, включающая генератор сигнала и усилитель сигнала, можно построить на программируемом микроконтроллере и на схеме усилителя высоких частот (УВЧ) [6].

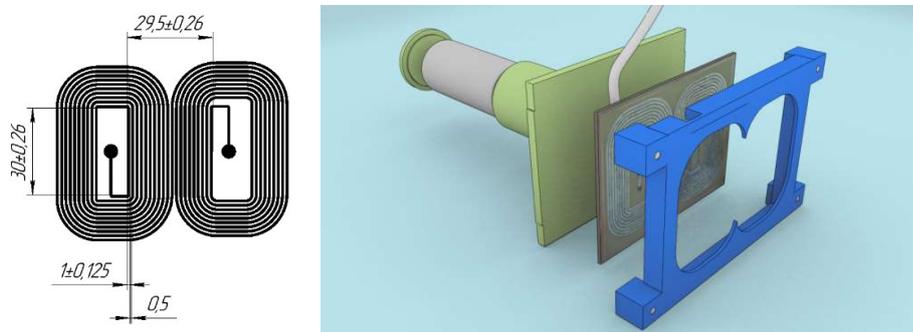


Рис. 1. Индуктор в виде двух симметрично расположенных эллипсов

Прием акустических сигналов в ЭМАП производится двумя способами:

1) благодаря возникновению ЭДС в катушках, которые находятся в постоянном магнитном поле и подвергаются электромагнитным излучениям свободных электронов объекта контроля под действием акустических волн;

2) с помощью отдельной антенны.

Наибольшая чувствительность обеспечивается в первом случае.

Благодаря наличию в микроконтроллерах множества выводов, появляется возможность регистрации полученного сигнала самим микроконтроллером.

Использование микроконтроллера и для генерации сигналов, и для их регистрации позволяет сделать прибор более компактным, а возможность хранения полученных данных, вывода графика сигналов и их координат дает дополнительные возможности и упрощает анализ данных.

Для построения моделей хорошо подходят микроконтроллеры Arduino, получившие широкую популярность среди радиолюбителей как недорогие, но хорошо подходящие для различных проектов. Несложность программирования и широкие возможности позволяют написать скетчи, которые затем прошиваются в сам микроконтроллер. Пример простого скетча для генерации колебаний представлен на рис. 2.

Для анализа полученных данных предлагается использование передаточной функции [7]. В теории автоматического управления каждая система характеризуется своей передаточной функцией. По аналогии с ней исследуемый образец металлического элемента можно представить в виде «черного ящика». Зная, какой сигнал был подан и какой получен, при его прохождении через «черный ящик», мы можем с помощью известных методов получить передаточную характеристику данного образца. Проводится оценка устойчивости системы с использованием корневого критерия. На основании полученных корней характеристического уравнения передаточной функции можно судить о степени напряженно-деформированного состояния образца [8, 9].

```

long d = 100000; // Частота
long b = 10; // Количество импульсов
float c;
long e = 5000; // Задержка до отправки следующей группы импульсов
void setup()
{
  pinMode(3, OUTPUT);
  c = 1000000*1/d;
}
void loop()
{
  for ( int a = 0; a < b ; a++ )
  {
    digitalWrite(3, HIGH);
    delayMicroseconds(c);
    digitalWrite(3, LOW);
    delayMicroseconds(c);
  }
  delay(e);
}

```

Рис. 2. Код скетча

Несмотря на все достоинства ЭМАП в настоящее время ультразвуковой неразрушающий контроль с его применением используется все же достаточно редко. Если ПЭП характеризуется пятью-семью конструктивными параметрами, то ЭМАП характеризуется от тридцати и более параметром [1]. В связи с этим создание наилучших конструктивных решений ЭМАП вызывает существенные трудности. Надо учесть тот факт, что полной теории для оптимизации всех этих характеристик для таких преобразователей не существует. Также проделанные эксперименты с ними не дают всей полноты необходимых для этого сведений. Поэтому исследования, включающие ЭМАП, имеют новизну и интерес.

Список литературы

1. Чабанов В.Е. Расчет и проектирование электромагнитно-акустических преобразователей для ультразвукового неразрушающего контроля / В.Е. Чабанов, В.А. Жуков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки, 2014. – № 3 (201). – С. 57–73. <http://www.usps.ru/ndt/top911/elem1936.html>.
2. Электромагнитно-акустический толщиномер А127 [Электронный ресурс] // Ураслибпромсервис. – Режим доступа: <http://www.usps.ru/ndt/top911/elem1936.html>.
3. Принцип ЭМА преобразования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ultrakraft.ru/ru/technology/emat.
4. Расчет плоских катушек для получения нужной индуктивности [Электронный ресурс] // Сайт Паяльник. – Режим доступа: <http://schem.net/radiomic/radiomic84.php>.
5. Катушка индуктивности электромагнитно-акустического преобразователя [Электронный ресурс] // FindPatent.ru. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/226/2268517.html>.
6. Баширов М.Г. Электромагнитно-акустический метод оценки технического состояния энергетического оборудования / М.Г. Баширов, И.Г. Хуснутдинова, Л.Г. Хуснутдинова, Д.Р. Усманов // Промышленная энергетика, 2016. – № 12. – С. 8–13.
7. Баширова, Э.М. Метод оценки напряженно-деформированного состояния металлических конструктивных элементов / Э.М. Баширова, И.Г. Хуснутдинова // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2014: материалы Международной научно-методической конференции, 2014. – С. 217–219.

8. Хуснутдинова И.Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля / И.Г. Хуснутдинова, М.Г. Баширов, Д.Р. Усманов, Л.Г. Хуснутдинова // *Фундаментальные исследования*, 2015. – № 10-3. – С. 538–541.

9. Баширова Э.М. Оценка предельного состояния металла оборудования для переработки углеводородного сырья с применением электромагнитного метода контроля / Э.М. Баширова // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2005.

Секция 4

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Председатель

Г.У. Матушанский – д.п.н., профессор, зав. кафедрой ИП ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Секретарь

Л.М. Романова – к.п.н., доцент каф. ИП ФГБОУ ВО «КГЭУ»

УДК 004.89

АНАЛИЗ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Е.А. Ажигина¹, М.Ю. Лебедева

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

E-mail: 1azhigina.kat@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы высшего образования в сфере инженерно-технической деятельности. Предложена схема организации Text Mining. Выявлены преимущества и недостатки использования интеллектуального анализа данных для обеспечения образовательного процесса. Представлен выбор программного средства в зависимости от необходимого механизма для анализа текстовой информации.

Ключевые слова: высшее образование, уровень подготовки инженеров, интеллектуальный анализ текстов, Text Mining, информационные технологии.

Российское высшее образование в сфере инженерно-технической деятельности в настоящее время руководствуется принципом «обучение на основе науки». Сама наука в XXI веке претерпевает значительные изменения. На вопрос о том, чем она должна заниматься, нет общепринятого ответа. Исходя из этого, нельзя выявить строгие критерии разделения научного от ненаучного, фундаментальных открытий от каких-либо новых результатов. Это приводит к семантическому сдвигу, а именно, замене понятий: «научная деятельность» на менее претенциозное понятие «исследование», «открытие» – на «инновацию». Кроме того, само высшее образование сталкивается с рядом проблем. Во-первых, проблема качества подготовки специалистов для будущей инженерно-технической деятельности, которая связана со слабым уровнем знания иностранных языков и недостаточным использованием современных информационных технологий инженерами. Во-вторых, кадровые вопросы, связанные с нехваткой специалистов на предприятиях и в научных организациях. В-третьих, проблема формирования у выпускников надпрофессиональных компетенций.

Информационные технологии развиваются быстрыми темпами, все большее распространение получают нанотехнологии и высокотехнологичные производства (в первую очередь, машиностроение). Это приводит к необходимости фундаментальной подготовки специалистов в сфере инженерно-технической деятельности по новым направлениям. Кроме необходимости изменения рабочих программ дисциплин, также нужно организовать эффективную работу бакалавров и магистров технических специальностей с современными информационными технологиями. В настоящее время от инженеров требуются знания менеджмента, что говорит о том, что рабочая программа должна быть нацелена кроме традиционных направлений, также на изучение разносторонних дисциплин, служащих общему развитию личности.

В ходе обучения и выполнения обязательных заданий (рефераты, расчетно-графические работы, курсовые проекты и т.д.) студенты технических профилей подготовки используют различные программные средства. При их выполнении важное значение имеет возможность работы с текстовыми документами, в частности, анализ текстовых данных. Наибольшее распространение в настоящее время получили интеллектуальные методы анализа текстов. Это связано, в первую очередь, с тем, что сырые, неструктурированные данные составляют не менее 90% информации, с которой работают пользователи. Найти нужную информацию среди всего этого «вороха» представляет собой сложную задачу, поэтому для ее решения необходимо использовать специализированные технологии.

Одной из эффективных технологий анализа текстов является Text Mining. Предложенная схема организации Text Mining, позволяет увидеть место технического образования в этой системе (рис. 1). Одной из сфер применения интеллектуального анализа текста является наука, где основным генератором идей выступают образовательные организации, занимающиеся научно-исследовательской работой. Одним из направлений, где активно ведутся такие работы, выступает техническое образование [1].

В общем случае, процесс анализа текстовых документов можно представить последовательным выполнением пяти этапов: поиск информации, предварительная обработка документов, извлечение информации, применение методов Text Mining, интерпретация результатов.

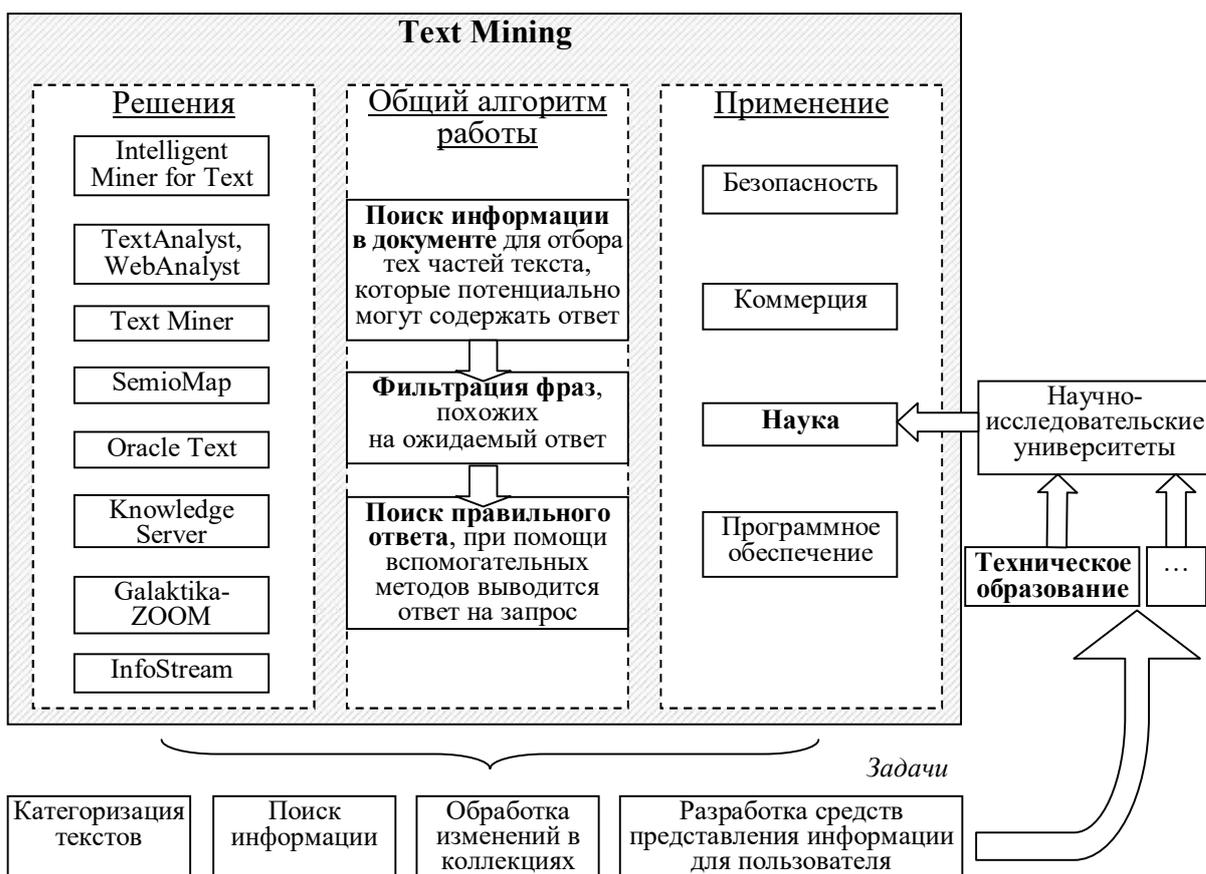


Рис. 1. Схема организации Text Mining

Необходимость использования Text Mining в качестве одного из инструментов, способствующих повышению качества высшего образования в сфере инженерно-технической деятельности продиктована следующими причинами. Во-первых, использование данной технологии позволяет быстро и качественно обрабатывать большие объемы неструктурированной информации и извлекать из них только ту, которая имеет ценность, при этом отмечается сокращение времени на поиск необходимой информации и трудовых затрат. Во-вторых, технология позволяет создавать шаблоны в тексте, что особенно актуально, когда речь идет о схемах, моделях, чертежах и их описаниях. В-третьих, возможность создания обзоров документов позволит не только аккумулировать большое число информации в небольшом формате, а также сделать эту информацию легко доступной для пользователя. В-четвертых, нахождение документов по внутреннему содержанию становится проще благодаря определению семантической близости текстов. В-пятых, результаты анализа текстов могут быть использованы для математического прогнозирования, анализа моделируемой обстановки и т.д.

Следующей важной задачей при включении технологии Text Mining в образовательный процесс является выбор конкретных программных средств для эффективного анализа текстовых документов. С учетом ориентации на технический профиль, из всего разнообразия программных продуктов, можно выделить следующие:

- программный продукт «Intelligent Miner for Text» состоит из отдельных независимых утилит, имеет мощный механизм поиска информации, является лучшим инструментом для глубинного анализа текста;

- «Text Miner» большее внимание уделяет логической обработке текстов, имеет возможность интегрировать неструктурированную текстовую информацию с имеющимися структурированными данными и определять достоверность представленной в документе информации;

- для работы с неструктурированными текстами служит программный комплекс «Oracle Text»: работа с запросами, поиск документов по содержанию с использованием морфологических форм, семантического словаря, предполагает наличие ошибок в запросе;

- идентификация шаблонов в тексте документов широко представлена в системе «Autonomy Knowledge Server», имеет возможность анализировать тексты с учетом корреляции частот и отношений терминов со смыслом текста [2].

Выбор конкретной системы из представленного списка должен основываться на определении основного необходимого инструмент, включающего в себя: мощный механизм поиска, логическая связь текстов, работа преимущественно с неструктурированной информацией или шаблонами.

При внедрении технологии Text Mining можно столкнуться с рядом проблем: при низком уровне использования информационных технологий, работа с системой интеллектуального анализа текстов может быть затруднительна; слабое знание иностранных языков может также сделать процесс использования данной технологии достаточно сложным. Это говорит о том, что для успешного применения Text Mining не только необходим определенный уровень знаний по работе с информационными технологиями, но и более серьезная общая подготовка бакалавров и магистров технических специальностей. Таким образом, рост качества высшего образования в сфере инженерно-технической деятельности будет организован за счет эффективного взаимодействия бакалавров и магистров с текстовыми данными и информационными технологиями, поскольку сама реализация технологии Text Mining уже предполагает использование того или иного программного решения.

Подводя итог, следует отметить, что современные реалии требуют активного использования информационных технологий в повседневной жизни. Таким образом, изменения в образовательных программах, затрагивающих использование новых технологий, неизбежны. В связи с этим, внедрение интеллектуального анализа текстов, исходя из выше предложенных аспектов, позволит повысить уровень подготовки бакалавров и магистров путем организации их прямого взаимодействия с информационными технологиями во всех изучаемых дисциплинах. Дальнейшие исследования могут быть продолжены в направлении рассмотрения Web Mining с точки зрения ориентации образования на Глобальную сеть.

Список литературы

1. Технология Text Mining [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/simpoz3/3.pdf> (дата обращения 27.10.2017 г.)
2. Технологии Text Mining и Web Mining [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам XXXIII студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. – М.: «МЦНО», 2016. – № 4(33). – Режим доступа: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/4\(33\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/4(33).pdf).

УДК 378.1

ИНТЕГРАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И.К. Будникова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: ikbudnikova@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются задачи информатизации образования с целью повышения качества подготовки специалистов в области IT- технологий и коммуникаций для реализации нового уровня инженерного образования.

Ключевые слова: компетенции, цифровая экономика, цифровая информационная среда инженера.

В 2017 г. утверждена Стратегия развития информационного общества, а также Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Программой определены цели, задачи, направления и сроки реализации основных мер государственной политики по созданию необходимых условий для развития в России цифровой экономики. Для управления программой определены базовые направления развития цифровой экономики, к которым отнесены кадры и образование, формирование исследовательских компетенций и технических заделов, информационная инфраструктура и информационная безопасность [1].

Сфера образования является одной из ключевых и наиболее перспективных площадок глобальной конкуренции государств за экономическую мощь и политическое влияние в XXI веке.

Вопрос развития инженерного образования в России также является стратегическим для экономической безопасности страны, что меняют характер инженерного образования в направлении расширения спектра его ключевых компетенций

Информатизация образования является одним из важнейших условий успешного развития процессов информатизации общества. Ведь именно в сфере образования подготавливаются и воспитываются те люди, которые не только формируют новую информационную среду общества, но которым предстоит самим жить и работать в этой новой среде. Информатизация образования – это процесс обеспечения системы образования теорией и практикой разработки и использования новых информационных технологий, ориентированных на реализацию цифровой экономики.

На волне бурного развития информационно-коммуникационных технологий конца прошлого века выросло «digital-поколение», для которого smart-устройства и гаджеты, использующие «продвинутые» технологии, являются обязательными элементами жизненного пространства.

На современном этапе развития высшей школы высококачественное образование представляет оптимальное сочетание так называемых традиционных методов обучения и средств e-learning (использование электронных учебников, компьютерных тренажеров, тестов и т.д.) [2].

Недостаточно передать студентам определенный объем знаний, намного важнее стало научить его поиску и анализу необходимой информации, обучение процессу самостоятельного получения знаний.

Важнейшими задачами информатизации образования являются:

- повышение качества подготовки специалистов на основе использования в учебном процессе современных информационных технологий;
- применение активных методов обучения, повышение творческой и интеллектуальной составляющих учебной деятельности;
- интеграция различных видов образовательной деятельности (учебной, исследовательской и т.д.);
- адаптация информационных технологий обучения к индивидуальным особенностям обучаемого;
- разработка новых информационных технологий обучения, способствующих активизации познавательной деятельности обучаемого для эффективного применения в профессиональной деятельности;
- обеспечение непрерывности и преемственности в обучении.

В результате достигается новое качество инженерного образования, обеспечивающего комплекс компетенций, включающий фундаментальные и прикладные знания, современные наукоемкие и цифровые технологии, владение методами проектного менеджмента, готовность к коммуникациям и командной работе.

Важнейшее дифференцирующее звено в глобальной экономической конкуренции – высокообразованные инженерно-технические специалисты, владеющие информационно-телекоммуникационными технологиями.

Список литературы

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>.

2. Будникова И.К., Приймак Е.В. Интеграция электронного образовательного ресурса нового поколения в современное образование // Вестник Казанского технологического университета, 2017. – Т. 20. – № 8. – С. 104–106.

УДК 378

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В РФ

*Л.В. Доломанюк¹, И.В. Ившин², А.Р. Сафин³,
Р.Р. Гибадуллин⁴, Е.М. Степанова⁵*

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹leonid-888@mail.ru, ²ivchini@mail.ru, ³sarkazan@bk.ru,
⁴torianin@mail.ru, ⁵ekatstepanova@mail.ru

Аннотация. В данной статье проведен анализ современных тенденций развития высшего образования, предложен системный подход к развитию высшего образования.

Ключевые слова: квалификационные требования, непрерывность, интегративность, регионализация, стандартизация, демократизация.

Время преобразований и реформ переживает образование России. В условиях высокого динамизма, комплексности, масштабности, неопределенности функционирования общества остро встает вопрос об изменениях системы высшего образования. Начался поиск новых концептуально-методологических оснований стандартов нового поколения, гармонично сочетающих в себе достижения предшествующих версий с современными запросами общества.

Признание права обучающегося (студента) не только на обучение, но и на самоопределение, саморазвитие, самовыражение обусловило потребность в гуманизации и демократизации образования.

Основная цель реформы образования состоит в том, чтобы одновременно с реорганизацией образования сформировать адекватную им систему подготовки профессиональных кадров, отвечающую новой структуре и новым задачам образования, вывести образование на уровень, обеспечивающий радикальное повышение профессионализма и общей культуры профессиональных кадров.

Изменения в социальной, информационной и технологической сфере задают новые квалификационные требования к уровню профессиональной подготовки выпускников:

- обладать развитым абстрактно-логическим мышлением, собственным компетентным мнением, уметь принимать обоснованные решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать их выполнение;
- обладать современным экономическим мышлением, уметь организовывать экономическую работу, руководить ею;
- обладать культурой межнационального общения, уметь сплачивать коллектив, укреплять дружбу между студентами различных национальностей, обеспечивать учет и уважение их национальных чувств, традиций и обычаев;
- обладать стремлением к постоянному самосовершенствованию, уметь планировать профессиональную карьеру, приобретать новые знания и использовать для этого современные образовательные технологии.

Сегодня можно выделить тенденции развития системы образования, такие как непрерывность, интегративность, стандартизация, демократизация, и др. [1].

Непрерывность образования. В предложенной трактовке воплощена гуманистическая идея: она ставит в центр всех образовательных начал человека, которому следует создать условия для полного развития его способностей на протяжении всей жизни. Понимаемое таким образом непрерывное образование означает продолжающийся всю жизнь учебный процесс.

Эти теоретические положения легли в основу реформирования более 60% национальных систем образования в мире (США, Японии, Германии, Великобритании, Канады, страны «третьего мира» и Восточной Европы).

В связи с тем, что выпускник в течение своей работы занимает ряд должностей инженерной, инженерно-технической, воспитательной, управленческой направленности, отличающихся друг от друга различными профессиональными компетенциями, то для выпускника необходимо непрерывное профессиональное становление, позволяющее ему делать карьеру и добросовестно исполнять любую должность, на которую он будет назначен.

Интегративность образования наиболее четко была выражена на первом этапе реализации непрерывного образования в западных странах и в условиях бывшего СССР. Сегодня в странах с развитой рыночной экономикой вопрос о связи производства и системы обучения решается следующим образом: для реализации конкретной производственной цели крупные корпорации делают заказ на подготовку специалистов всех уровней в соответствующих учебных заведениях, или корпорации открывают на свои средства учебный комплекс.

Данная тенденция хорошо прослеживается в системе образования. Так в соответствии с концепцией реформирования системы образования [2] одним из приоритетных направлений является: «... разработка кадрового заказа на подготовку выпускников и уточнение источников его реализации».

Разработка стандарта образования позволяет:

- установить базовый уровень образования;
- повысить качество подготовки специалистов путем расширения уровня;
- универсализации содержания образования;
- внедрение прогрессивной блочно-модульной системы обучения;
- контроль за эффективностью деятельности учебных заведений;
- конвертируемость (надежность) образования внутри государства и за его пределами для беспрепятственного участия в международном рынке труда.

Стандартизация образования выражена разработкой и внедрением в деятельность вузов государственных образовательных стандартов высшего образования по всем специальностям и включением образования в единое образовательное пространство России.

В образовании процесс демократизации прошел важный этап, когда были обеспечены его доступность, бесплатное общее образование, равноправие при получении и высшего образования на основе способностей каждого, направленные на полное развитие личности, на увеличение уважения к правам человека и основным свободам.

Возникает ряд проблем развития новых образовательных систем, без ответа на которые внедрение инновационных моделей в образование не возможно.

Необходимость непрерывного образования, являющаяся одним из важнейших положений Концепции (Доктрины) непрерывного образования

в Российской Федерации, в существующей системе образования пока в большей степени декларирована, нежели реализована. Стандарты различных уровней не образуют единую общую систему высшего образования, обеспечивающего полноценную подготовку специалиста. Имеет место во многих случаях слишком общее определение целей, при котором их нельзя применять для сравнения с реальными результатами

Трудно диагностируемый язык текстов стандартов требует значительного пересмотра целей-требований при попытках создать оценочные средства для определения достижения этих целей. Необходимо учитывать естественный консерватизм образовательной системы, ее сопротивление нововведениям. Важно отметить, без серьезных государственных инвестиций в образование перейти к новой модели и тем самым повысить его качество невозможно.

Ряд серьезных проблем стоит перед высшим образованием:

1. С введением в вузах государственных образовательных стандартов высшего образования, возникла необходимость сокращения ряда специальностей, ограничения количества часов выделяемых на изучение профессиональных дисциплин (примерно на одну треть) и как результат снижение их профессиональной компетенции. В то же время квалификационные требования к уровню профессиональной подготовки специалистов значительно повысились из-за повышения сложности современной техники.

2. Повышение фундаментальной подготовки студентов входит в противоречие с требованием руководящих документов, по переходу на ускоренные сроки обучения специальностям для исполнения обязанностей по занимаемой должности, поскольку формирование обучающихся в вузах как профессионалов осуществляется в соответствии с учебными программами в основном на старших курсах.

Выводы

Проведенный анализ современных тенденций развития высшего образования показал что:

1. Указанные тенденции развития системы высшего образования раскрывают лишь основные направления работы этого процесса, на практике их безусловно больше.

2. Необходимо обеспечить целенаправленность, системность и непрерывность в этой работе, что будет способствовать повышению эффективности обучения и воспитания в вузах.

Список литературы

1. Федеральный закон РФ «Об образовании в Российской Федерации», № 273-ФЗ от 29.12.2012 (с изменениями на 2 марта 2016 года).
2. Федеральная программа Реформирование системы высшего образования в Российской Федерации на период до 2020 года» / (Постановление Правительства Российской Федерации от 27 мая 2012 года №352). – М., 2012.
3. Батышев С.Я. Профессиональная педагогика. – М.: Ассоциация «Профессиональное образование», 2014. – 94 с.
4. Вербицкий А.А. Компетентностный подход и теория контекстного обучения: Материалы к четвертому заседанию методологического семинара 16 ноября 2014 г. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2014. –133 с.

УДК 681.326

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКУМОВ ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОМЫШЛЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ АВТОМАТИЗАЦИИ

В.Н. Елизаров

ФГАОУ ВО ГУАП, г. Санкт-Петербург

E-mail: elizarvlad@yandex.ru

Аннотация. На примере дисциплины «Цифровые системы автоматизации и управления» и опыте разработки систем управления на ПЛК рассматриваются проблемы выбора оборудования и программного обеспечения для учебной лаборатории промышленных микропроцессорных технологий; организация работы студентов с интеллектуальными программными комплексами; формирование индивидуальных заданий, приближенных к задачам производства; предлагается методика проектирования программ для ПЛК, которая упрощает отладку и тестирование на этапах проектирования и внедрения систем управления.

Ключевые слова: лаборатория, цифровые системы управления, промышленная автоматизация, программируемые логические контроллеры.

Проблемы изучения новых технологий автоматизации производственных процессов. В настоящее время при проектировании автоматизированных систем управления с точки зрения применений микропроцессорных устройств условно можно выделить несколько направлений, в том числе встраиваемые контроллеры, промышленные компьютеры и программируемые логические контроллеры (ПЛК; англ. *programmable logic controller – PLC*).

В данной статье мы будем рассматривать только проблемы изучения и применения ПЛК для синтеза автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП). Термин PLC ввел Odo Josef Struger

(Allen-Bradley) в 1971 году [1]. Он также сыграл ключевую роль в унификации языков программирования ПЛК и принятии стандарта IEC61131-3. Вместе с Richard Morley (Modicon) их называют «отцами ПЛК».

Только с появлением ПЛК хорошо развитая теория по проектированию АСУ ТП получила настоящее практическое внедрение, так как в корне поменялась технологии программирования ПЛК, сократились сроки разработки и внедрение систем. При этом изменились подходы к методам поддержки работающих систем, где на практике заказчики самостоятельно обеспечивают работоспособность систем и не привлекают к этим работам разработчиков.

Одной из главных проблем для построения систем управления (СУ) является решение задачи выбора аппаратуры (производителя) и систем программирования ПЛК.

При выборе ПЛК необходимо учитывать и сравнивать следующие характеристики: число входов/выходов, типы питания, число встроенных коммутационных портов, сетевые возможности, в том числе протоколы и интерфейсы, стоимость, наличие быстродействующих входов, языки программирования, разновидность специальных функций, совместимость с другими ПЛК и другие.

В системах программирования ПЛК можно выделить два класса: специализированные и инструментальные графические среды программирования. Из состава оборудования для выполнения лабораторных практикумов, которые описаны ниже, следует, что курс ориентирован на работу со специализированными программными пакетами фирм Siemens, Kooyo и Mitsubishi Electric.

В соответствии с международным стандартом на языки программирования IEC 1131-3 (МЭК 1131-3) в ПЛК реализованы языки графического программирования FBD и LAD, где программа представляется в виде коммутационной схемы, которая состоит из соединительных элементов, функциональных блоков и электрических связей [1]. При этом целесообразно учитывать специфику ПЛК. В ПЛК при синтезе программы управления технологическим оборудованием используется большое разнообразие различных функциональных блоков с множеством состояний, в том числе счетчики, задержки, таймеры, регистры, генераторы и т.д., использование которых значительно упрощает процесс программирования.

Эти блоки реализованы на программном уровне и поэтому у разработчика программы для ПЛК практически нет ограничений на число используемых в программе функциональных блоков и число состояний

автомата, нет острой необходимости в теории и задачах минимизации аппаратных схем. В системах автоматизированного управления технологических процессов при обработке алгоритма ПЛК должен переходить к выполнению следующего действия только при подтверждении выполнения/завершения предыдущего сигнала управления. Реальные технологические процессы, как правило, довольно сложны, включают последовательную и параллельную обработку сигналов, для которых характерно большое число состояний. В этих условиях не удастся применить формальные процедуры синтеза конечного автомата для всей системы управления.

Таким образом, в отличие от микропроцессоров при использовании ПЛК в корне меняется политика разработки цифровых систем управления, выбор языков программирования и методики программирования ПЛК, этапы сопровождения СУ в процессе эксплуатации.

Лаборатория промышленных микропроцессорных технологий (ПМТ). Лаборатория ПМТ в СПбГУАП начала создаваться в 1992 г. после внедрения модернизированной СУ роботом на 8-ми разрядном микропроцессоре Atmel на хлебозаводе ОАО «Заря». Несмотря на успешные результаты внедрения, стало понятно, что разработка уникальных и не серийных СУ на микропроцессорах экономически не оправдано, затратная по времени и проблематична с точки зрения поддержки работоспособности. Освоение в лаборатории новых технологий на базе ПЛК началось с серии I-7000 фирмы ICP DAS (Тайвань). Базовыми элементами серии являются промышленный ПЛК I-7188 и его модификации, модули I/O, преобразователи интерфейсов и модемы.

Понять всю прелесть новых технологий помогла практическая работа по проектированию СУ на серии I-7000 для хлебозавода «ОАО Каравай». Требовалось создать СУ для транспортировки различных сортов муки по воздушным трубопроводам из склада бестарного хранения к оборудованию производственных участков, которое размещено в четырех зданиях.

ПЛК I-7188 программируется на универсальных языках и при использовании интегрированных систем разработки программируется на языках стандарта IEC 1131-3, технологическое оборудование подключается через модули I/O по интерфейсу RS-485. В лаборатории используется среда Good Help с языком FBD, которая состоит из набора программ: архиватора, OPC и COM серверов, редакторов языка FBD и человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

В настоящее время в лаборатории представлены ПЛК семейств фирм Siemens, Kooyo и Mitsubishi Electric, которые выполнены в модульном и в каркасном исполнениях. Семейство ПЛК Siemens представлено модулями LOGO!, включая 7-ю версию, S7-200 и S7-1200 с различными процессорами и модули I/O, S7-300 с коммутационными и модули I/O. Семейство Kooyo – DL-05, DL-06 и DL-205. ПЛК и модули I/O размещены на DIN-рейках и провода уложены в пластиковые короба, так как это делается в промышленных шкафах размещения оборудования. Работы по монтажу и созданию имитации реальных сигналов технологического оборудования выполнены в лаборатории своими силами. В лаборатории ПЛК подключены к промышленным технологическим устройствам, в том числе к элементам пневмо-систем: бесшумный компрессор, устройство подготовки воздуха, пневмо-остров, пневмо-мускул, пневмо-краны и цилиндры. Студенты могут использовать в своих работах эти устройства и демонстрировать их работу в своих проектах.

В лаборатории демонстрируется стенд СУ многокомпонентного дозирования жидких компонентов, который выполнен в промышленном исполнении, и представлены видео проекты, которые внедрены на предприятиях сотрудниками и студентами [2,3].

Студенты осваивают новые технологии разработки СУ на ПЛК с изучения модулей LOGO!, проектируя СУ в уникальной среде разработки программ LOGO!SoftConfort на языках FBD и LAD и закрепляют полученный опыт практической работой со стендами LOGO! в режимах записи/чтения программ, настройки параметров, эмуляции и on-line.

На следующем шаге студенты переходят к выполнению работ на серии I-7000, где создают программы для ПЛК на языке FBD и ЧМИ, формируют данные для работы СОМ-сервера. Результаты демонстрируют в различных режимах эмуляции в виртуальном режиме (без оборудования), с реальными модулями и контроллером. Далее студенты изучают и выполняют проекты на языке релейной логики, где самостоятельно выбирают фирму – производителя ПЛК.

В настоящее время в лаборатории накоплена оригинальная база заданий для проектов студентов, которая постоянно расширяется.

Методика разработки и отладки программ на языке FBD. Как будет показано ниже этапы синтеза (разработки) и отладки программ взаимосвязаны. При разработке программ для ПЛК необходимо учитывать особенности среды графического программирования.

Так как ПЛК позволяют существенно снизить время разработки, сроки внедрения и упрощает процессы модернизации системы управления, то основными критериями при проектировании программ для ПЛК являются реализация заданного алгоритма управления технологическим оборудованием, простота тестирования, отладки и обнаружения ошибок проектирования, доступность и понимание текста программ на этапах сопровождения проекта.

Из анализа опыта разработки АСУ ТП на ПЛК, отладки алгоритмов промышленных СУ предлагается применять при проектировании программ следующие правила и приемы:

1. Проводить предварительный анализ моментов включения (выключения) выходов ПЛК и выделять две группы: выходы с однократным включением; выходы, которые меняют свои состояния в процессе выполнения алгоритма управления. Для первой группы выходов предлагается применять модель комбинационной схемы автомата. Для второй группы необходимо реализовать модель автомата с памятью, но только не для всей группы, а последовательно для каждого выхода из группы.

2. Изучать техническую документацию и знать функциональные возможности системы графического программирования. Здесь уместно привести аксиому Кана и Орбена: если ничто другое не помогает, прочтите, наконец, инструкцию.

3. Выполнять правила и применять методы, которые накоплены в универсальных языках программирования, это наличие комментарием, структурное программирование, обращаться к подпрограммам и другие. В противном случае к этим приемам придется вернуться на этапе отладки программ.

4. Фиксировать моменты включения/выключения управляющего выхода ПЛК для активизации условий запуска следующего управляющего выхода ПЛК.

5. Последовательно синтезировать функцию управляющего выхода ПЛК двигаясь от выхода к входам и индивидуально для каждого выхода применять модель конечного автомата. Процессы минимизации и кодирования состояний автомата в данном случае не актуальны для ПЛК.

Рассмотрим применение предлагаемой методики в среде программирования LOGO!SoftConfort фирмы Siemens на примере технологического процесса, который представлен на рис. 1.

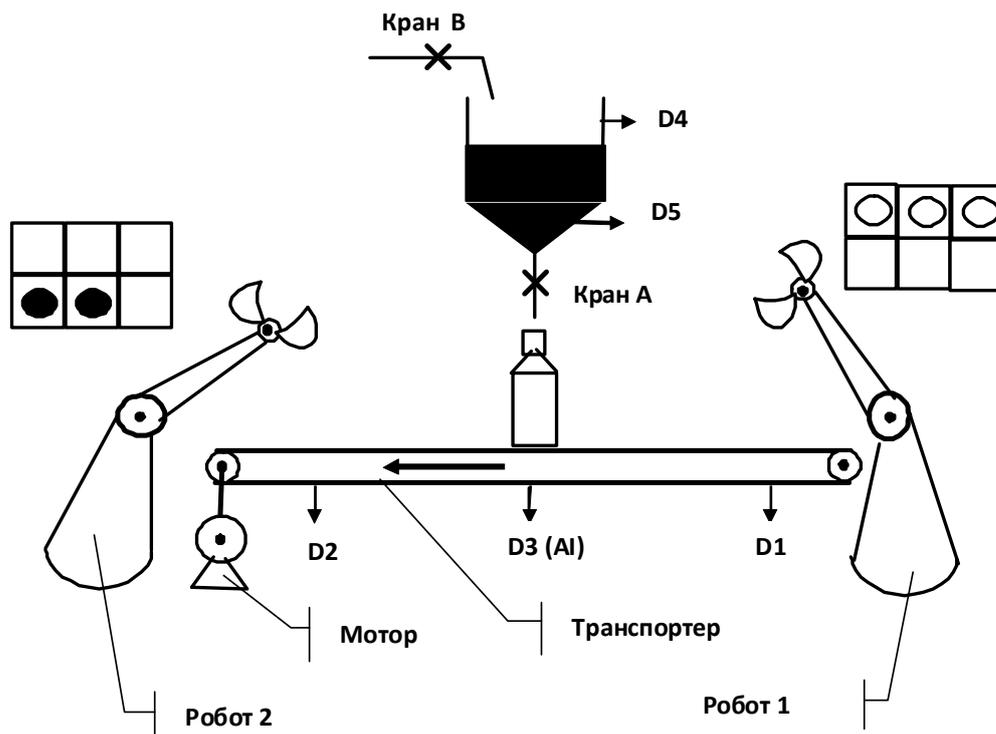


Рис. 1. Пример технологического процесса

По сигналу «Пуск/Стоп» (не показан на схеме) когда транспортер свободен робот 1 ставит пустую бутылку на ленту, срабатывает датчик D1 и ПЛК включает мотор. При перемещении пустой бутылки в зону датчика D3 (аналоговый вход – тензвесы) ПЛК останавливает мотор. Датчик D3 фиксирует вес пустой бутылки и ПЛК открывает кран А по условию, что бак не пустой (датчик D5). В процессе наполнения пустой бутылки ПЛК отслеживает состояние датчиков D5 и D3. При D5 = 0 (бак пустой) контроллер открывает кран В. При наполнении бутылки по сигналу D3 (параметр в блоке программы) ПЛК закрывает кран А и после закрытия крана второй раз включает мотор и транспортер перемещает полную бутылку в зону датчика D2. По сигналу D2 ПЛК останавливает мотор и подает сигнал роботу 2, чтобы последний снял наполненную бутылку с транспортера и переместил ее в свободное место тары. Изменяется состояние датчика D2. Робот 1 ставит на транспортер пустую бутылку и выполняется следующий цикл работы системы.

На рис.2 представлена работа программы ПЛК в режиме эмуляции для двух управляющих сигналов: мотора и крана А. Для мотора показаны сигналы, которые привели к установке RS триггера (блок В001) в состояние «1». Выделены два момента фиксации выключения мотора и закрытия крана А с использованием различных элементов. Причем второй момент фиксации на базе блока «И-Не с анализом фронта» предпочтительнее. В первом случае на базе блока «Импульсное реле» при включении питания ПЛК формируется паразитный сигнал, который необходимо блокировать, например, сигналом «Пуск/Стоп».

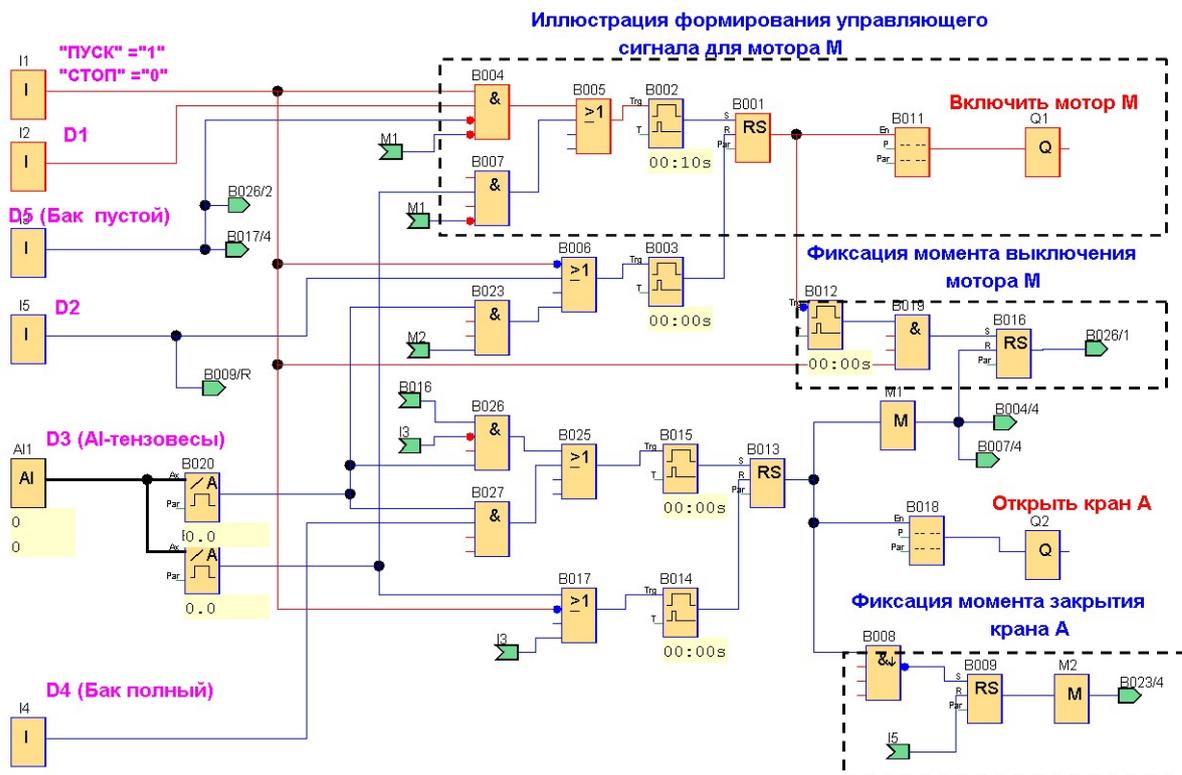


Рис. 2. Фрагмент программы, выполненный в среде LogoSoftComfort

Список литературы

1. Hugh J. Automating Manufacturing Systems with PLCs. 2010, 644 с. <http://freecomputerbooks.com/Automating-Manufacturing-Systems-with-PLCs.html>
2. Елизаров В.Н., Маршалов А.А. Многокомпонентная система дозирования: решения по модернизации с использованием виртуальных инструментов. // Автоматизация в промышленности, 2014. – № 2. – С. 45–48.
3. Егорова И.С., Елизаров В.Н, Маршалов А.А. Автоматизация загрузки и выгрузки расстойного шкафа // Автоматизация в промышленности, 2012. – № 2. – С. 26–30.

УДК 65.015.148

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОКАМА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

А.А. Карташова, А.М. Зиновьев, А.Р. Яруллина

Ассоциация «НП «КИТПК», г. Казань
Казанский кооперативный институт (филиал)
Российского университета кооперации, г. Казань

Вопросы развития и совершенствования системы кадрового обеспечения предприятий в условиях инновационной и цифровой экономики являются крайне актуальной задачей. Изменение формата взаимодействия

предопределяет новые вызовы, которые накладываются на текущие задачи и без грамотного их решения ставят под вопрос, в конечном счете, работоспособность всей экономики.

Об изменении парадигмы кадровой политики на всех уровнях заявляют многие авторы. В частности, авторы статьи [1] придерживаются убеждения о необходимости значительного инвестирования в эту область. Иначе говоря, как отмечается в современных исследованиях, вложения в человеческий ресурс, человеческий капитал приобретают приоритетные значения. Таким образом, для реализации «экспертного заказа» необходимо оценочно увеличить инвестиции в мероприятия кадровой работы в несколько раз. Это создаст определенный тренд еще в рамках прежней кадровой парадигмы.

Интересно также привести данные о востребованности организациями управленческих инноваций. Они свидетельствуют о том, что порядка 80 % организаций заказывают консалтинговым фирмам новую организационную структуру управления; на втором месте находится мотивация; на третьем – спрос на стратегию; на четвертом – компетентное определение служебных функций персонала; на пятом месте – подходы к разрешению внутриорганизационных конфликтов [2].

По нашему мнению, вопрос объема инвестиций в ту или иную сферу, безусловно, является важным, но не решающим. Практика подсказывает, что некоторые системные вопросы и проблемы не могут быть решены из-за отсутствия правильно выстроенной коммуникации. Прежде всего это касается взаимосвязи предприятий реального сектора экономики и образовательных учреждений среднего и высшего образования. Несмотря на большую проведенную работу и наличие целевых наборов, базовых кафедр, договоренностей о стажировках и практиках, ввиду стремительного изменения общей ситуации вопрос выстраивания эффективных каналов связи и взаимодействия выходит на первый план.

Элементы перехода к парадигме управления человеческими ресурсами описаны в работе [3]. На первых порах это предполагает организацию образовательно-консультационного и мотивационно-стимулирующего сопровождения.

Переход к инновационной и цифровой экономике требует разработку решений. Выходящих за пределы компетенций хозяйствующего субъекта. В этой связи в Республике Татарстан имеется ряд ассоциаций и объединений, которые делают возможным выстраивание конструктивного диалога.

В деятельности Камского инновационного территориально-производственного кластера Иннокам предложен действенный формат взаимодействия по решению кадровых вопросов.

Одним из вариантов решения поставленной задачи является кооперация представителей кадровых служб предприятий одной отрасли или территории для коллективного решения поставленных вопросов.

Опыт Камского инновационного территориально-производственного кластера в рамках «сквозного» приоритетного направления по инновационному развитию системы подготовки и повышения квалификации кадров с учетом потребностей кластера заключается, среди прочего, в создании специального совещательного органа – Кадрового комитета [4].

Кадровый комитет Ассоциации «Некоммерческое партнерство «Камский инновационный территориально-производственный кластер» Иннокам – это общественный орган, осуществляющий координацию деятельности промышленных предприятий, учреждений профессионального образования всех уровней, общеобразовательных школ, Ассоциаций и объединений работодателей, научно-педагогической общественности и иных организаций, входящих в состав Камского инновационного территориально-производственного кластера, в сфере кадровой политики (Project Support Team) [5].

В настоящее время членами комитета являются представители 14-ти крупнейших предприятий в сфере химии, нефтехимии и автомобилестроения, 5-ти образовательных учреждений среднего и высшего образования, 4-х институтов развития и ассоциаций, а также представителей органов государственной власти Республики Татарстан.

В качестве инструмента для организации инновационного развития кадрового обеспечения выбрано направление по развитию сетевого взаимодействия промышленных предприятий и образовательных организаций кластера для реализации образовательных программ и проектов. Концепция данного направления в настоящее время проходит стадию активной разработки. В качестве успешных примеров для включения в данный документ рекомендован опыт работы области развития наставничества таких компаний как, ООО «УК КЭР-Холдинг», ПАО «Нижекамскнефтехим», ПАО «КАМАЗ», СП «Форд Соллерс», предприятий, входящих в ПАО «Татнефть», АО «Химический завод им. Л.Я. Карпова». Лучшие практики по организации образовательными учреждениями дуальной системы обучения на предприятиях Иннокама были включены Агентством стратегических инициатив в Базу эффективных практик кадрового обеспечения промышленного роста.

Также рабочими группами Кадрового комитета была проведена работа по определению приоритетных направлений развития инженерного образования в республике, стратегии и тактики деятельности научно-педагогической общественности. На основании собранных материалов, ФГБОУ ВО КНИТУ (КХТИ) была разработана Концепция развития инженерного образования в Республике Татарстан [6].

Перечисленные примеры являются только малой частью тех проблемных и актуальных для предприятий реального сектора вопросов.

Однако опыт проведения подобной работы показывает высокую эффективность в частности расширения каналов взаимодействия предприятий и образовательных учреждений в целях подготовки высококвалифицированных кадров, готовых впоследствии работать на промышленных предприятиях Республики Татарстан, что в конечном итоге является фактором устойчивого развития экономики региона в целом.

Список литературы

1. Старостин А.М., Понеделков А.В., Филоненко В.И., Швец Л.Г. От кадрового обеспечения инвестиционного развития – к инвестиционному обеспечению кадровой политики / Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление, 2017. – № 9 (88). – С. 125–129.

2. Латкин А.Г. Управленческие нововведения. – М.: Макс Пресс, 2008.

3 Зайцева Т.В. Система управления человеческими ресурсами. – М.: Изд-во МГУ, 2012.

4. Стратегия развития Камского инновационного территориально-производственного кластера Республики Татарстан на период до 2020 года.

5 Положение о Кадровом комитете Ассоциации «Некоммерческое партнерство «Камский инновационный территориально-производственный кластер».

6 Укрупненный перечень контрольных событий приоритетного проекта Республики Татарстан по развитию Камского инновационного территориально-производственного кластера-участника приоритетного проекта Минэкономразвития России «Развитие инновационных кластеров-лидеров инвестиционной привлекательности мирового уровня».

УДК 378.147:621.3

МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА» У СТУДЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

О.В. Мусеева

ФГБОУ ВО ДВГУПС, г. Хабаровск

E-mail: eteem31@festu.khv.ru

Аннотация. В статье рассматриваются направления и перспективы методической работы кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика», вопросы внедрения новых образовательных технологий, реализация модульного подхода.

Ключевые слова: методика, электротехника, электроника, образовательные технологии, тестирование, учебный модуль.

Одна из целей модернизации системы образования – это обеспечение доступности качественного образования. Образование обеспечивает прогресс человеческой цивилизации, оно значимо для каждого отдельно взятого человека. Ведущей тенденцией во многих странах мира признана фундаментализация образования, которая обусловлена прогрессирующим ростом объема информации, потребностью ее обновления в течении двух-трех лет, необходимостью создания единого информационного пространства.

19 июня 1999 г. после окончания конференции «Зона европейского высшего образования» в городе Болонья была подписана декларация, в которой министры призвали страны присоединиться к их инициативе «по созданию общей системы, нацеленной на улучшение внешнего призвания и облегчения мобильности учащихся, так же как и на расширение возможности их трудоустройства». Мобильность студентов – это возможность получения высшего образования при последовательном прохождении частей программы обучения высшего образования при последовательном прохождении частей программы в вузах двух или нескольких стран с признанием усвоенного при этом материала.

Анализ компетенций, которым должен обладать выпускник вуза для успешного трудоустройства – это теоретические знания, практические навыки и умения, владение общими и коммуникативными знаниями. Так как на качество подготовки специалиста влияет организация учебной деятельности – на кафедре ЭТЭМ издаются конспекты лекций; совершенствуются лекционный демонстрационный эксперимент; закупается новое оборудование; переиздаются после переработки методические указания к выполнению лабораторных работ; студенты привлекаются к участию в научно-технических конференциях.

Изучение курса «Электротехника и электроника» предлагает изучение учебного материала (конспект лекций, учебная литература), подготовку к лабораторным работам и выполнение расчетно-графической работы как единую цепь учебной работы по освоению дисциплины. Лекционный курс – это ведущее звено в этой цепи – содержит в себе потенциал диалога (сопоставление старых знаний с новыми, открытие интереса к новому, выход на самостоятельные рассуждения и т.д.), проектирует коммуникативный научный подход к предмету изучения. В процессе чтения лекций по определенной смысловой позиции материала формируются вопросы, предлагается ответить на них. Понимание этих вопросов может быть проконтролировано на самой лекции, а так же на лабораторных работах и практических занятиях, которые являются средством проработки лекционного курса.

Для выполнения лабораторных работ на кафедре ЭТЭМ разработаны методические указания, которые содержат теоретическую часть, методику выполнения лабораторной работы и контрольные вопросы, что формирует представление рассматриваемой темы. Сборник задач содержит задачи, соответствующие изучаемым теоретическим разделам, с индивидуальными вариантами заданий. В структуре практического занятия требуется наличие следующих элементов: формулировка темы занятия и его цели; проверка и обсуждение домашних заданий и теоретических вопросов, необходимых для осмысленного решения задач; обсуждение желательности и возможности использования компьютерной поддержки; решение наиболее существенных типовых задач и разбор конкретных примеров; проверка и анализ полученных результатов, обсуждение в области возможных приложений; выдача задания для самостоятельной работы с подробными рекомендациями по их выполнению.

Одной из основных задач высшей школы является повышение эффективности учебного процесса. Необходимо осуществлять новые подходы к организации обучения. Наиболее эффективна в процессе усвоения знаний самостоятельная деятельность, которая является важнейшей частью учебно-воспитательного процесса. Самостоятельная работа студента рассматривается как метод обучения, посредством которого достигается приобретение знаний, решение многих воспитательных задач (активности, настойчивости, самостоятельности), так как она способствует самовыражению, самоконтролю, развитию творческого потенциала, внутренней мотивации, навыков саморазвития и самообразования, инициативности, ответственности, самодисциплины и других умений, навыков и качеств личности, необходимых для успешной профессиональной деятельности будущих специалистов. Самостоятельная работа предполагает активные умственные действия студентов, связанные с поиском наиболее рациональных способов выполнения предложенных заданий, с анализом результатов работы.

Поэтому самостоятельную работу студентов необходимо планировать и находить новые средства контроля и обучения студентов. Можно выделить следующие основные элементы, характерные для самостоятельной работы:

- задания в различных формах: рефераты, доклады, сообщения, задачи;
- практические занятия;
- лабораторный практикум;
- консультации.

Организация самостоятельной работы должна определяться принципом поисковой, исследовательской, творческой деятельности, целью которой является активация и интенсификация учебного процесса посредством реализации следующих задач: повысить уровень учебной автономии студентов, способности к самообразованию, саморазвитию; развить исследовательские и творческие умения; расширить кругозор и информационную культуру студентов; дополнить знания и мотивацию в области электротехники. Для организации самостоятельной работы студентов используются следующие ее виды: изучение дополнительной литературы и ресурсов Интернет; написание докладов и рефератов; участие в семинарах и конференциях.

Презентация сообщения на конференции способствует развитию умений выступления на публике, самообладания, поддержания визуального контакта с аудиторией, искусства убеждения, что играет положительную роль в процессе формирования личности.

Часть заданий не исключает совместной самостоятельной работы студентов, которая развивает навыки взаимодействия с коллективом и сотрудничества, коммуникативной толерантности и тактичному поведению в процессе общения.

Овладение знаниями и их закрепление осуществляется путем проработки материала лекций, ответов на контрольные вопросы и тестовые задания, при выполнении расчетно-графической работы, при подготовке к выступлениям на занятиях и конференциях, при работе со справочниками и использовании компьютерной техники. Приобретенные навыки студентов можно оценить при сдаче экзамена.

Удобной формой реализации основных требований к современному образованию может быть использование модульного принципа в организации построения учебного курса [3]. Понятие модуля определяется как «целевой функциональный узел, в котором учебное содержание, технология овладения им, система контроля и коррекции объединены в систему высокого уровня целостности». Объем и содержание модуля определяется дидактической целью, которая ставится при его формировании.

Модульная организация учебного курса при изучении технических дисциплин для инженерных специальностей и направлений в последнее время приобретает особую актуальность [4]. Подготовленность студентов инженерного цикла продолжает снижаться. Основные причины – отсутствие мотивации к овладению будущей профессией и низкая работоспособность,

то есть способность выполнять большие объемы работ в определенные сроки. Деление курса на небольшие фрагменты (модули) дает возможность студентам быстрее адаптироваться к ситуации, активизировать самостоятельную работу, повысить уровень освоения конкретной дидактической единицы и приобрести определенные компетенции.

Объем и содержание модуля определяется дидактической целью, которая ставится при его формировании. Применительно к дисциплинам общеинженерного цикла целесообразно включать в модуль следующие основные блоки:

- 1) блок входного контроля – для определения уровня готовности студентов к предстоящей самостоятельной работе;
- 2) теоретический блок – полное теоретическое обеспечение поставленных задач;
- 3) кейсы и задания на самостоятельную работу;
- 4) лабораторные работы;
- 5) контрольный комплекс – тесты, экзаменационные вопросы.

Модульный подход органично вписывается в балльно-рейтинговую систему оценки знаний. Накопление баллов по результатам освоения учебного модуля с прозрачной системой контроля понятнее и объективнее и для студента и для преподавателя. Модули могут отличаться по объему [5].

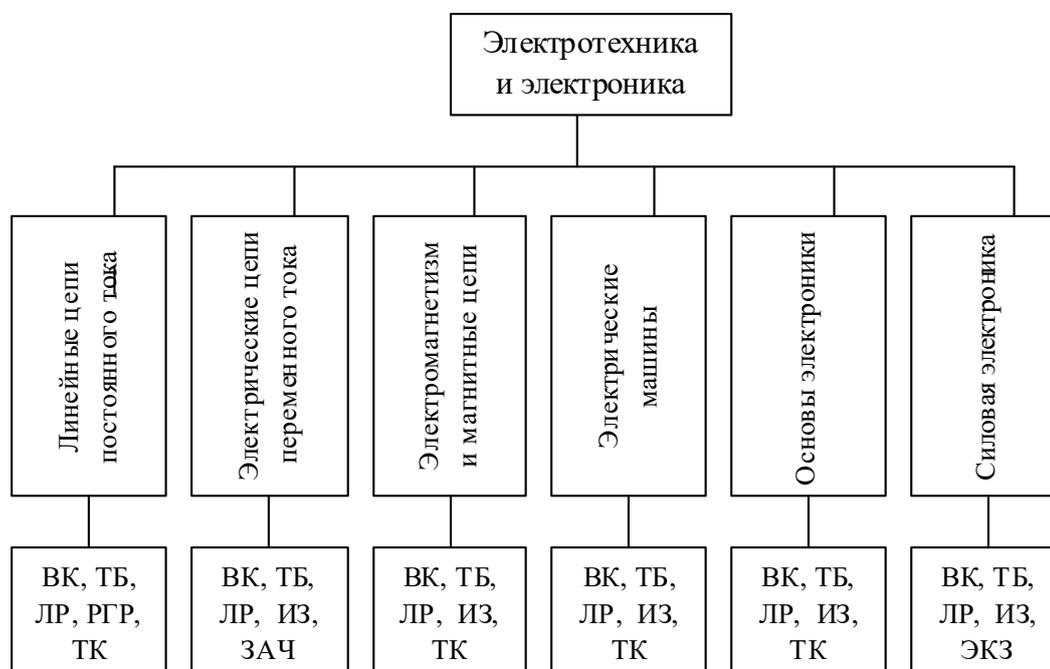
По окончании каждого раздела (модуля) проводится полный контроль знаний студента в виде сдачи задач, защиты лабораторных работ, соответствующих этой теме, и тестирование. Дисциплина «Электротехника и электроника» для специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» (специальности «Локомотивы», «Вагоны», «Электротехнический транспорт железных дорог») [1] традиционно включает в себя шесть основных разделов, соответственно, имеет смысл выделить шесть модулей (два – в третьем и четыре – в четвертом семестре).

Первый модуль содержит две лабораторные работы и расчетно-графическую работу, выполняемую по индивидуальному заданию (что прививает навыки самостоятельной работы) по разделу «Линейные цепи постоянного тока». Готовясь к лабораторной работе, студенты изучают теоретический материал, используя конспект лекций, учебники и методическое руководство к лабораторным работам. Качество подготовки оценивается по практической части работы (вычисления, графики и выводы по полученным результатам) и по ответам на вопросы, представленные в методическом руководстве по выполнению лабораторных работ. Второй

модуль «Электрические цепи переменного тока» содержит две лабораторные работы и две индивидуальные задачи. В процессе работы используется ЭВМ. В кафедральном компьютерном зале выполняется часть лабораторных работ и поэтапное тестирование. В результате общая сумма баллов составляет от 60 до 100 баллов: первый модуль – от 20 до 30 баллов, второй – от 40 до 60. По этой сумме студент получает зачет. Если студент не набирает в сумме 60 баллов, то он должен набрать недостающее количество баллов получая допуск по данной теме.

Каждый модуль четвертого семестра («Электромагнетизм и магнитные цепи», «Электрические машины», «Основы электроники. Источники вторичного электропитания», «Силовая электроника») содержат по две лабораторные работы и индивидуальные тематические задачи. Часть лабораторных работ выполняется на ЭВМ. Проводится поэтапное тестирование. К экзамену допускаются студенты, набравшие от 60 до 80 баллов. Недостающее количество баллов можно набрать, получая допуск по данной теме.

Примерная структура курса и состав модулей показаны на схеме: ВК – входной контроль; ТБ – теоретический блок; ЛР – лабораторные работы; ИЗ – индивидуальные задачи; ТК – тестовый контроль; ЗАЧ – зачет; ЭКЗ – экзамен.



Для проверки эффективности работы студента необходим ее контроль. К видам контроля СРС дневной формы обучения по дисциплине «Электротехника и электроника» относятся тесты, зачет и экзамен, а также создание рефератов, докладов, решение задач и сдача лабораторных работ.

Контроль самостоятельной работы студентов заочной формы обучения производится по результатам выполнения контрольной работы, защиты лабораторных работ и экзамена. Контрольная работа состоит из пяти задач, которые выбираются согласно варианта.

Тестирование является целесообразным при контроле качества учебного процесса: позволяет учащимся в режиме самоконтроля оценить уровень своих знаний, повышает чувство ответственности и требовательности к себе; снизить затраты времени преподавателей при проведении контроля знаний учащихся, что особенно важно в период окончания учебных семестров. В то же время тестирование не может полностью заменить такую традиционную форму контроля знаний как экзамен с участием преподавателя, когда полнее учитываются особенности каждого студента.

Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по специальности 23.05.03 Подвижной состав железных дорог (уровень специалитета): Утвержден приказом №1295 Министра образования и науки РФ 17 октября 2016 г.

2. Материалы международной заочной научной конференции «Теория и практика образования в современном мире». – СПб., 2012.

3. Чернявская А.П. Образовательные технологии. Технология модульного обучения: учебное пособие / А.П.Чернявская и др. [Электронный ресурс]. – Режимы доступа: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met49/node15.html>.

4. Морозова Н.А. Модульный подход в современном образовании. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ucheba.com/ur_rus/k_metodkopilka/modul/htm/

5. Левченко Т.А. Проблемы и перспективы использования балльно-рейтинговой системы для аттестации учебной работы студентов высших учебных заведений // Вопросы современного естествознания, 2008. – № 9.

6. Гуцин Ю.В. Интерактивные методы обучения в высшей школе / Ю.В.Гуцин // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна», 2012. – № 2.

7. Орлова И.В. Психолого-педагогические аспекты в образовательных стратегиях // Электронный журнал «Психологическая наука и образование». – Режим доступа: www.psyedu.ru. ISSN:2074-5885. E-mail: psyedu@mgppu.ru, 2012. – № 1.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.С. Серова

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А.А. Сеницын

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

Аннотация. Проверка минераловатных изделий на теплопроводность волокон, воздушной среды и влаги, находящихся между волокнами, а также на передачу тепла лучеиспусканием. Теплопроводность твердой основы как основная составляющая общей теплопроводности зависит от геометрии и ориентации волокон в пространстве. При заданной плотности наиболее эффективным теплоизолятором является минеральная вата с хаотически расположенными и беспорядочно ориентированными волокнами. Воздух, заключенный в порах ваты, обладает низкой теплопроводностью и находится в статичном состоянии; именно это определяет ее отличные теплоизоляционные качества.

Ключевые слова: теплоизолятор, материал, минеральная вата, стекловолокно, теплопроводность, влажность.

В настоящее время в связи с высокими тарифами на энергоресурсы наиболее остро встают проблемы энергосбережения и ресурсосбережения в целом. В сфере ЖКХ это особенно актуально: значительные потери тепловой энергии зданий и сооружения фиксируются через ограждающие конструкции в виду ухудшения качества материалов их изготовления. На современном рынке строительных материалов имеется широкий спектр различных по своим свойствам теплоизоляторов.

Традиционно теплоизоляционными материалами считаются: древесноволокнистые плиты, арболит, минеральная вата, стеклянная вата, газобетон, пеностекло, плиты на синтетическом связующем и так далее (рис. 1). Такие утеплители делятся на разные виды в силу своих особенностей: материала изготовления, способа установки, теплосохранности, ценового диапазона и так далее. Для увеличения биостойкости, огнестойкости, водостойкости в теплоизоляционных материалах, разработанных, на основе органики вводят различные антипирены, антисептики и гидрофобизаторы [1].

По статистике порядка 70% всего рынка теплоизоляционных материалов занимает минеральная вата. Первое промышленное производство теплоизоляционных материалов на основе минеральной ваты было налажено

в 70-е годы XIX века в Германии. У нас в стране минеральная вата хотя и использовалась, но в достаточно скромных объемах, и лишь с 70-х годов прошлого столетия она получила более широкое применение. Тогда в числе компаний, поставлявших в СССР минеральную вату, появился, например, мировой лидер «Роквул» (ROCKWOOL), чья продукция в тот период использовалась преимущественно в судостроении.



Рис. 1. Классификация теплоизоляционных материалов

В понятие минеральная вата согласно ГОСТ 31913-2011 «Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения» [2], входят следующие разновидности ваты: стеклянная вата: минеральная вата, изготовленная из расплава стекла; каменная вата: минеральная вата, изготовленная преимущественно из расплава изверженных горных пород; шлаковая вата: минеральная вата, изготовленная из расплава доменного шлака.

Технология производства минеральной ваты заключается в подготовке сырьевой смеси (измельчение горной породы, шлаков, боя красного или силикатного кирпича и др.), ее расплавлении в вагранке, ванной печи или другом плавильном агрегате и переработке расплава в нити толщиной до 8 мкм, длиной от 5 до 40 мм. Из этих нитей и образуется минеральная вата.

Теплопроводность минераловатных изделий складывается из трех составляющих: теплопроводности волокон, теплопроводности воздушной среды и влаги, находящихся между волокнами, а также передачи тепла лучеиспусканием. Теплопроводность твердой основы как основная составляющая общей теплопроводности зависит от геометрии и ориентации волокон в пространстве. При заданной плотности наиболее эффективным теплоизолятором является минеральная вата с хаотически расположенными и беспорядочно ориентированными волокнами. Воздух, заключенный в порах ваты, обладает низкой теплопроводностью и находится в статичном состоянии; именно это определяет ее отличные теплоизоляционные качества.

Однако коэффициент теплопроводности теплоизолятора может увеличиться при ухудшении качества материала, в том числе при его увлажнении. Причинами увлажнения могут стать разные случаи: неправильное хранение и перевозка материала, осадки во время монтажа утеплителя снаружи здания, протечки при нарушении гидроизоляции, конденсат внутри стеновых конструкций, а также капиллярное увлажнение при отсутствии гидроизоляции фундамента здания. Увлажнение материала приводит не только к повышению теплопроводности, но и таким проблемам, как изменение формы и размеров материала – усадка, сползание и т.п., а также появлению плесени и микроорганизмов во влажном материале.

Была поставлена задача провести расчетно-экспериментальные исследования влияния влажности на теплозащитные свойства изоляционного материала, а именно зависимость изменения теплопроводности от относительной влажности.

Теплопроводность образцов определялась при помощи прибора ИТС-1 «150». Для каждого образца (всего пять образцов) измерение проводилось не менее пяти раз при различной степени влажности.

Принцип действия прибора основан на создании проходящего через исследуемый плоский образец стационарного теплового потока. По величине этого теплового потока, температуре противоположных граней образца и его толщине вычисляется теплопроводность образца λ по формуле:

$$\lambda = \frac{dq}{\Delta T},$$

где d – толщина образца; q – плотность теплового потока, проходящего через образец; ΔT – разность температур между противоположными гранями образца.

Исследуемый образец имел форму прямоугольного параллелепипеда, лицевые грани которого – квадрат с размерами 150×150 мм. Толщина образца находилась в пределах 10...25 мм. Для проведения испытания по ГОСТ 7076–99 [3] применены следующие средства измерения: прибор для измерения теплопроводности и термического сопротивления, аттестованный в установленном порядке и удовлетворяющий требованиям, приведенным в приложении А к указанному ГОСТ; штангенциркуль по ГОСТ 166–89* [4] для измерения наружных и внутренних размеров с диапазоном измерения 0...125 мм, значением отсчета по нониусу – 0,05 мм, пределом допускаемой погрешности – 0,05 мм; линейка металлическая изме-

рительная по ГОСТ 427-75 [5] с верхним пределом измерения 1000 мм, пределом допускаемого отклонения от номинальных значений длины шкалы и расстояний между любым штрихом и началом или концом шкалы – 0,2 мм; а также весы лабораторные общего назначения по ГОСТ 24104–2001 предназначенные для статического измерения массы в лабораториях различных предприятий и организаций, разность между верхней и нижней границами диапазона рабочих температур должна быть не менее 5 °С для весов специального класса точности [6].

Последовательность действий при исследовании влияния влагосодержания на термическое сопротивление была следующей:

1. Подготовка образцов: вырезаны образцы с размерами 150×150 мм с последующим просушиванием в сушильном шкафу не менее 24 часов.

2. Определение массы образца. Для определения массы сухого образца воспользуются электронными весами.

3. Определение теплопроводности образца теплоизоляционного материала. Теплопроводность полностью высушенных образцов определяется не менее пяти раз для каждого образца.

4. Увлажнение и определение относительной влажности образцов. После определения теплопроводности сухих образцов они увлажнялись до требуемой для эксперимента влажности. Непосредственно перед началом определения теплопроводности, увлажненный образец взвешивался на весах и определялась его относительная влажность.

На рис. 2 показана экспериментальная зависимость изменения теплопроводности теплоизоляционного материала ISOVER от относительной влажности.

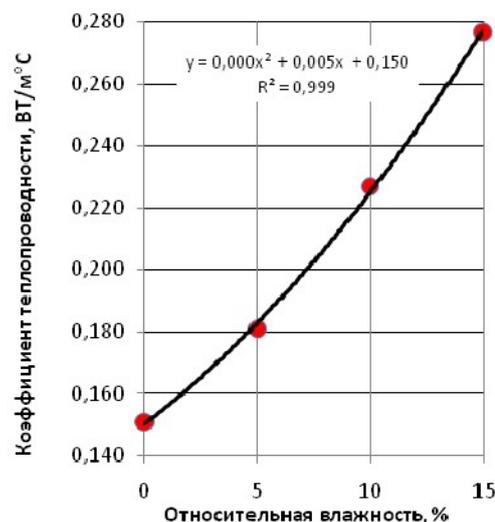


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от относительной влажности

Как видно из графика зависимости с увеличением относительной влажности коэффициент теплопроводности минеральной ваты увеличивается. При этом величина достоверность аппроксимации 0,99. Этот процесс объясняется тем, что влага замещает воздух, расположенный между волокнами ваты, а теплопроводность воды гораздо больше, чем у воздуха.

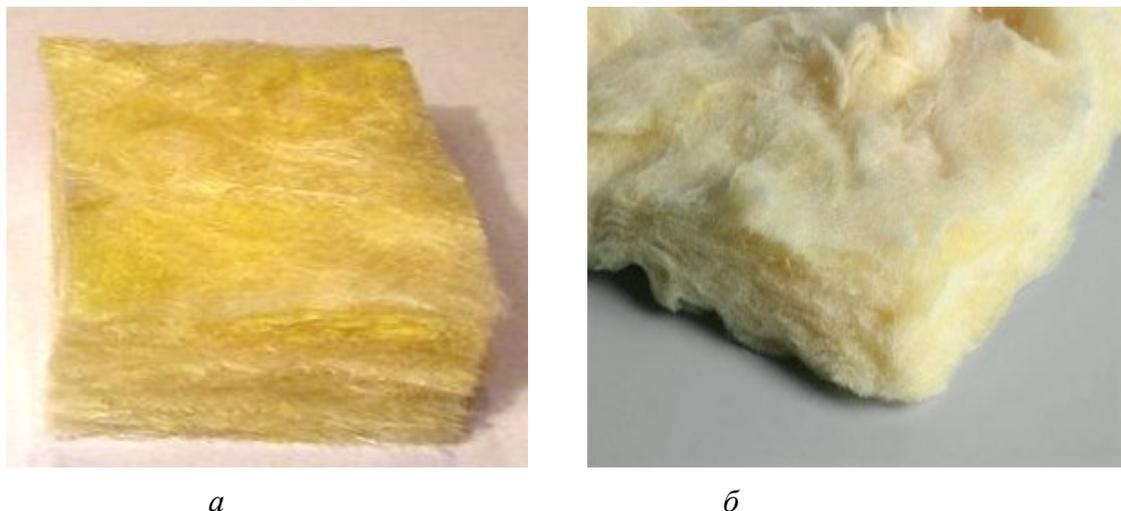


Рис. 3. Образцы минеральной ваты до эксперимента (*а*) и после (*б*)

Таким образом, минеральная вата является негорючими, гидрофобизированными, теплозвукоизоляционными плитами на основе горных пород базальтовой группы. Плиты предназначены для теплозвукоизоляции строительных конструкций жилых зданий и промышленных сооружений, в которых утеплитель не воспринимает внешней нагрузки.

Теплопроводность минераловатных изделий складывается из трех составляющих: теплопроводности волокон, теплопроводности воздушной среды и влаги, находящихся между волокнами, а также передачи тепла лучеиспусканием. Теплопроводность твердой основы как основная составляющая общей теплопроводности зависит от геометрии и ориентации волокон в пространстве.

Как показывают исследования на теплопроводность строительных материалов (минеральной ваты), влажность оказывает значительное влияние. Причиной этого является то, что в процессе увлажнения материала воздух в поровом пространстве замещается водой, теплопроводность которой значительно больше теплопроводности воздуха.

Результаты эксперимента могут быть применены для расчета теплопроводности минеральной ваты в зависимости от ее влажности при использовании в строительстве.

Список литературы

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ. – М., 2016. – 116 с.
2. ГОСТ 31913-2011. Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения. Введ. 2013-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 27 с.
3. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 27 с.
4. ГОСТ 166-89* Штангенциркули. Техническое условие. Взамен ГОСТ 166-80; введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 19 с.
5. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. Взамен ГОСТ 427-56; введ. 1977-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 8 с.
6. ГОСТ 24104 – 2001 Весы лабораторные. - Взамен ГОСТ 24104-88; введ. 2002-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.

УДК 378

АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ РАСЧЕТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»

Е.М. Степанова¹, Л.В. Долманюк², И.В. Ившин³

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: ¹ekatstepanova@mail.ru, ²leonid-888@mail.ru, ³ivchini@mail.ru

Аннотация. В данной статье проведен анализ методики обучения по базовой дисциплине «Соппротивление материалов» с учетом инновационных подходов.

Ключевые слова: компетентность, техническая механика, непрерывность, инновация, модификация.

Согласно Концепции модернизации образования до 2020 г. [1], Доктрине высшего инженерного российского образования [2], инженерное образование является приоритетным направлением развития науки и техники в России. В связи с этим требуется реализовать технологический прорыв в области фундаментальных проблем инженерных наук, который может быть обеспечен подготовкой квалифицированных бакалавров-энергетиков в области инженерных наук, способных к профессиональному росту, а также разработкой новых технологий обучения фундаментальным

базовым знаниям с учетом инновационных подходов. Обучение в техническом вузе будущих бакалавров-энергетиков должно ориентироваться не только на стандартную, работу инженера-электрика, но и на работу требующую творческого подхода. Это может быть, например, расчет или проектирование нового инженерного объекта или расчет новой компоновки узлов конструкции.

Сопротивление материалов (техническая механика) – это наука, изучающая прочность, жесткость и устойчивость элементов несущих конструкций. Именно в этой базовой дисциплине особенно глубоко можно поставить перед студентами проблемы творческого расчета или проектирования нового для них объекта. При этом этапы научного исследования диктуются принципами научной методологии. А именно, общая схема научного исследования включает в себя: выбор объекта исследования в рамках некоторой научной области, системный подход при описании объекта, проверка модели на непротиворечивость, построение математической модели объекта, применение к модели метода максимального упрощения.

Существует достаточно много педагогической литературы [3, 4], посвященной проведению практических и лабораторных занятий. В большинстве случаев предполагается проведение занятий следующим образом: студенты должны выполнять расчеты, используя готовую математическую модель. Для выполнения заданий студент должен знать набор алгоритмов, достаточный для решения некоторых типичных задач, и должен владеть соответствующими подпрограммами вычислительных систем (Ansys, MathCAD, Math Lab и т.д.). Готовит ли это студента к решению практических задач, которые он должен будет решать как инженер-энергетик? Или создает у него иллюзию, что для решения любой инженерной задачи можно найти соответствующее программное средство? Во всяком случае, такая методика обучения не готовит будущего инженера для творческой работы, которая зачастую требуется от специалиста.

В связи с этим возникает необходимость в разработке новых и адаптации существующих подходов к обучению технической механике студентов технических специальностей. В настоящее время основной акцент в подготовке специалистов делается на высоко квалифицированность, профессиональную компетентность, готовность создавать и осваивать наукоемкие технологии, осуществлять трансфер технологий. Дисциплина «Сопротивление материалов» является научной основой для описания

механических процессов и имеет непосредственные приложения в дисциплинах общетехнического профиля (теория машин и механизмов, гидравлика, газодинамика и пр.). Косвенно сопротивление материалов используется во всех дисциплинах, где встречается понятие механики деформированного твердого тела.

Целью работы является разработка новых принципов подготовки квалифицированных инженерных кадров с углубленным пониманием механики и ее прикладных возможностей в инженерных науках: архитектуре, строительстве и технике. Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1) модифицировать методику обучения сопротивления материалов студентов инженерных специальностей с учетом уровня компетентности студентов в рамках исследовательской деятельности;

2) разработать алгоритм обучения студентов инженерных специальностей, связывающий фундаментальные знания в области технической механики с практическими умениями в решении профессиональных задач.

Поставленные задачи будут решены следующим образом:

1) предложена методика решения прикладных задач, ориентированных на потребности инновационных знаний в области энергетики. Примером такого типа задачи является задача расчета поперечного сечения балки электрической опоры;

2) адаптированы новые методы, формы обучения и новые технологии проведения занятий по курсу «Сопротивление материалов», активизирующие исследовательскую деятельность студентов. Одним из методов предлагается разработать материалы для лектория по дисциплине, задачи для реализации проектной деятельности с применением метода математического моделирования и другие;

3) разработана система задач и упражнений прикладного характера, позволяющая продемонстрировать студентам инженерных специальностей возможности математического аппарата в решении профессиональных задач. Примеры такого рода задач представлены, например, в работах В.Н. Михайлов, Е.М. Степанова, В.В. Васильев [5], где приводятся технические задачи, решаемые с помощью дифференциального и интегрального исчисления.

Но в рамках уменьшающихся аудиторных зачетных единиц на дисциплину «Сопротивление материалов» достичь необходимого глубокого понимания предмета и ее прикладного потенциала в инженерных специальностях не представляется возможным. Научная новизна работы состоит в модификации и адаптации форм и методов обучения технической механики в энергетическом вузе, ориентированных на повышение привлекательности инженерного образования. С учетом уровня компетентности студента, в разработке комплекса мероприятий для создания индивидуальной образовательной траектории студентов с высоким потенциалом к исследовательской работе (создание и проведение лектория, проведение вебинаров, мастер-классов, использование метода проектов – индивидуальных и групповых, индивидуальное научное консультирование). В ходе исследования будут использованы различные методы, методики и инструментарий. Будет применяться метод проектов для научно-исследовательской работы студентов в области архитектуры, строительства и техники; использоваться интернет-ресурсы и пакеты прикладных программ, а также специально сконструированная с учетом специальности разноуровневая система прикладных и профессионально ориентированных задач, позволяющая диагностировать и развивать компетентность студентов. Особое внимание будет уделено использованию элементов методики развития творческого инженерного потенциала и креативности и методов теории решения изобретательских задач

Ожидаемые результаты авторского исследования:

1. Разработка принципов, модификация методов преподавания технической механики в специализированном техническом вузе, ориентированных на повышение привлекательности инженерного образования и уровня математической компетентности выпускника, сочетающие фундаментальность математической подготовки с прикладной направленностью в решении профессиональных задач для студентов энергетических специальностей.
2. Результаты сравнительного анализа эффективности методики и уровня развития профессиональной компетентности студентов на фокус-группах, обучаемых по традиционной системе, а также с применением разработанной инновационной методики (на примере студентов КГЭУ).
3. Издание сборника прикладных и профессионально ориентированных задач по курсу «Сопротивление материалов» для энергетических специальностей.

Вывод

Основным результатом проводимого исследования будет усовершенствование методики обучения сопротивления материалов компетентного специалиста, способного решать возникающие задачи из реальных областей инженерной деятельности с применением математического аппарата и возможностей прикладных пакетов.

Список литературы

1. Концепция модернизации образования до 2020 года // Интернет-портал Министерства образования и науки Российской Федерации. URL: [рф/документы/2474/файл/901/Госпрограмма_Развитие_Образования_\(Проект\).pdf](http://rf/документы/2474/файл/901/Госпрограмма_Развитие_Образования_(Проект).pdf).

2. Доктрина высшего инженерного образования в России // Интернет-портал Ассоциации высшего инженерного образования России. – URL: aeer.cctpu.edu.ru/winn/doctrine/doctrine.doc.

3. Зиновкина М. М., Утёмов В. В. Структура креативного урока по развитию творческой личности учащихся в педагогической системе НФТМ-ТРИЗ // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2013. – Т. 3. – С. 266–270.

4. Гаркуша М.Ю., Сечкин Г.И. Исследование проблемы потребности Омского региона в инженерных кадрах // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2015. – № 2. – С. 215–219.

5. Теоретическая механика. Часть 2. Программа и методические указания по изучению дисциплины для студентов заочной формы обучения направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» / сост.: В.В. Васильев, В.Н. Михайлов, Е.М. Степанова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. – 60 с.

УДК 378.048.2

ГУМАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ТЕНДЕНЦИЯ ИЛИ ТЕНДЕНЦИОЗНОСТЬ?

Ж.В. Федорова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
E-mail: fedorova_zhanna_v@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу проблем и перспектив гуманизации технического образования. Обосновывается положение о том, что современное образование должно учитывать тенденции развития технических, естественных и социально-гуманитарных наук как системы. В статье показано, что техническое образование должно стать личностно-ориентированным, так же оно должно учитывать воспитательную составляющую учебного процесса.

Ключевые слова: техническое образование, социально-гуманитарные науки, гуманизация, личностный подход, воспитание.

Гуманизация технического образования – это взаимоотношение и взаимодействие гуманитарных и технических дисциплин, единство технократической и гуманитарной культуры. Кроме своих профессиональных знаний и умений, специалист должен обладать общей культурой. Одним из путей гуманизации профессиональной подготовки является гуманистическое осмысление результатов человеческой деятельности в историческом прошлом и настоящем, что должно найти отражение в преподавании учебных дисциплин.

В современном мире происходит модификация иерархии личностных качеств инженера. На первый план выходят не узкопрофессиональные особенности человека, а его способность быстро реагировать на изменения – творчество, инициативность и разносторонность. Профессиональная подготовка инженера должна не просто обеспечивать определённый уровень знаний, умений и навыков, но и формировать готовность к саморазвитию и самообразованию. Реализация гуманистической цели образования предполагает фундаментализацию и гуманитаризацию дисциплин в программах вузов. Это обусловлено тем, что приоритет общезначимых ценностей и знаний над узкоспециализированными способствует формированию целостной картины мира, оптимизируя при этом его профессиональное развитие в быстро меняющихся социально-экономических и технологических условиях [1].

Гуманитаризация образования способствует, прежде всего, общекультурному развитию студента, формированию его творческого мышления, правовой культуры, стремления к созданию экологически безопасной окружающей среды, знания психологии профессиональной деятельности. Обладая такими знаниями, специалист может философски осмысливать достижения современной науки и техники, новые экономические отношения [2].

Совершенно очевидно, что процесс гуманизации инженерно-технического образования должен привести к пониманию всеми преподавателями вуза равнозначности гуманитарной и общеинженерной подготовки будущих специалистов инженерного профиля. Основа гуманитаризации лежит в гуманности самой модели обучения и образования, поскольку гуманизм – это та материя, которая существует только в отношениях между людьми.

Гуманизацию образования необходимо осуществлять не в отрыве от технического обучения, а как бы погружаясь в него посредством изучения истории науки, эстетики научно-технического творчества, профессиональной

этики, гуманистической традиции в конкретной области. В то же время, для технического вуза традиционной является недооценка работы и деятельности преподавателя по формированию личности специалиста, то есть недооценка всего того, что составляет основную задачу высшей школы.

Т.И. Блинова выделяет ряд педагогических условий, необходимых для гуманизации образовательного процесса в техническом вузе. Среди них – педагогическая поддержка личности студента (индивидуальная консультационная помощь, возможность получения индивидуально-обучающей помощи) [3]. Преподавателю вуза необходимо помнить, что студенты имеют разный уровень подготовки, различные способности и интересы. Гуманизация образования предполагает личностно-ориентированный подход в обучении студентов.

Гуманизация образования, наряду с увеличением и совершенствованием преподавания гуманитарных наук, предполагает и гуманитарно-ориентированное преподавание технических и общеобразовательных предметов.

Только преподаватель, имеющий психолого-педагогическую подготовку как системообразующую в контексте профессиональной деятельности, может гуманизировать данную деятельность. Поэтому важнейшей задачей является совершенствование психолого-педагогической компетентности преподавателей технических вузов в системе повышения квалификации и непосредственно в образовательных учреждениях. Процесс гуманизации невозможно свести к конкретным технологиям и методикам, а научить педагога строить гуманистически ориентированный педагогический процесс практически невозможно без перестройки им самим своих личностных установок.

В то же время, гуманизация пока не является доминирующим принципом естественно-технического образования. С одной стороны, в нем выдвинуто требование о том, что инженер должен содействовать «развитию творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрению достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использованию передового опыта, обеспечивающий эффективную работу подразделения, предприятия». С другой стороны, как показывает изучение ФГОС, это требование остается декларацией,

Известно, что одну и ту же проблему можно освещать, расставляя различные акценты, с разных позиций. Преподавание гуманитарных и социально-экономических дисциплин, согласно ФГОС, осуществляется

в форме авторских лекционных курсов, по программам, разработанным в самом вузе и учитывающим региональную, национально-этическую, профессиональную специфику, а также научно-исследовательские предпочтения преподавателей. Таким образом, преподавателю дана свобода в построении лекционного курса, предоставлена возможность учитывать особенности своего региона, свои научные интересы.

Получается, что государство декларирует основные принципы гуманизации образования, но в их реализации полностью полагается на свободный выбор преподавателя. На наш взгляд, следствием этого является субъективизм в преподавании дисциплин, конформизм, невнимание к гуманистической составляющей образовательного процесса.

В образовательном стандарте ничего не сказано о воспитании человека в духе гуманизма. По-видимому, воспитательная составляющая образования реализуется в зависимости от субъективного подхода преподавателя к этому процессу.

Анализ требований к содержанию образовательной программы показывает полное отсутствие человековедческой составляющей. При этом методы осуществления гуманизации технических дисциплин известны – это изучение истории науки, биографий учёных, этики и эстетики научно-технического творчества. В конечном счете, изучение гуманистической традиции в конкретной области оставляется на усмотрение преподавателя. То есть назначение стандарта, в котором утверждается личностно-развивающая сущность образования, в данном случае не выполняется. В программах не прослеживается проблемно-ориентированный подход, основанный на разрешении противоречий.

Нормативные документы в области образования мало соответствуют друг другу, не дополняют и даже вступают в противоречие. Так, Закон об образовании устанавливает в качестве первого принципа государственной политики в области образования его гуманистический характер – приоритет общечеловеческих ценностей, жизни и здоровья человека, свободного развития личности, воспитание гражданственности, трудолюбия, уважения к правам и свободам человека. ФГОС объявляет схожее требование о развитии творческой инициативы, но в целом документ не ставит личность и её развитие в центр всего образовательного процесса. Таким образом, необходимо отметить, что современное естественно-техническое образование представляется в большей степени консервативным в плане внедрения в его содержание гуманистических принципов. Гуманитарно-ориентированное

преподавание технических и общеобразовательных предметов требует специальной переподготовки преподавателей. А смена преподавателями своих личностных установок – длительный и сложный процесс, повлиять на который возможно только путём реализации целого комплекса системных преобразований.

Список литературы

1. Ветров Ю., Майборода Т. Инженерное образование: смена парадигмы // Высшее образование в России, 2003. – №5. – С. 48–50.
2. Проценко В.А., Носач В.Н. Гуманизация образования в техническом вузе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rusnauka.com/ТИР/All/Pedagog.
3. Блинова Т.И. Психолого-педагогическая подготовка преподавателей негуманитарных дисциплин, как фактор гуманизации образования в техническом вузе [Электронный ресурс]. – Ресурс доступа: <https://www.nakhodka.wl.dvgu>.

УДК 621:337.364(075.8)

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТИПОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

О.В. Шишов¹, А.В. Троянский²

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск
E-mail:¹olegshishov@yandex.ru, ²troyansky-a@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности организации лабораторного комплекса для изучения базовых типовых средств автоматизации – промышленных логических контролеров, операторных панелей, регуляторов. Предлагаются подходы обеспечивающие комплексность изучения технических средств, наглядность представления результатов, придание учебным работам исследовательского характера.

Ключевые слова: автоматизация, программируемые контроллеры, регуляторы, визуализация, законы регулирования, учебные стенды.

Республика Мордовия в последние годы является одним из прогрессивно развивающихся регионов России. Ее предприятия представляют самые различные отрасли промышленности – приборостроение и машиностроение, пищевое, цементное, шиферное, кабельное, электротехническое производство. Успехи региональных предприятий были бы не возможны без внедрения новой техники и технологий производства. Одним из ключевых моментов успеха для каждого предприятия является широкая автоматизация технологических процессов, поэтому, в республике постоянно растет спрос на молодых специалистов, способных разрабатывать и обслуживать системы управления автоматических и автоматизированных линий и станков.

Доминирующей тенденцией развития современных промышленных систем управления является разработка проектов автоматизации для различных областей применения с использованием одинаковых базовых подходов и стандартных компонентов. Практическую реализацию эта тенденция нашла в выпуске программно-технических комплексов, базовыми компонентами которых выступают промышленные свободно программируемые контроллеры. Кроме контроллеров в состав этих комплексов включаются операторные панели, специализированные контроллеры (регуляторы, таймеры, счетчики), модули удаленного ввода/вывода, нормализаторы, а также компоненты, позволяющие связать все перечисленное в единый сетевой комплекс.

Профильные учебные заведения не могли обойти вниманием это техническое направление – во многих из них в программы обучения включены соответствующие дисциплины, расширяется необходимая лабораторная база.

Уже больше двадцати лет на кафедре электроники и наноэлектроники Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева функционирует лаборатория «Современные технологии промышленной автоматизации». Основное внимание в ее работе уделяется комплексности формируемых у учащихся знаний. Процесс знакомства с аппаратными и программными средствами, применяемых при создании проектов автоматизации, не должен превратиться в отрывочное знакомство с их отдельными классами. Современные системы управления это сложные взаимосвязанные комплексы оборудования и учащиеся должны получать представление не просто о возможностях тех или иных устройств и пакетов, а знать различные подходы для решения конкретных задач, принципы распределения задач управления между компонентами системы управления и организации их совместной работы. Желание добиться таких знаний и навыков потребовало выработки определенных подходов к формированию тематики практических учебных работ, к выбору последовательности и средств их реализации.

В первую очередь в лаборатории учащиеся знакомятся с базовыми компонентами современной автоматики – свободно программируемыми контроллерами и операторными панелями, с их аппаратными ресурсами, с возможностями их конфигурирования, программирования, работы в промышленных сетях. Возникло желание постараться максимально широко использовать эти аппаратные средства и потенциал применяемых при работе с ними программных пакетов в качестве измерительных, управляющих и визуализирующих инструментов при выполнении работ по знакомству с другими классами средств автоматизации.

Наша вузовская лаборатория является региональным учебным центром крупнейшего российского производителя средств автоматизации компании ОВЕН и базовыми техническими средствами изучения выступают контроллеры серии ПЛК этой компании. Для их программирования используется пакет CoDeSys, имеющий широкие сервисные возможности. Например, кроме создания программы для контроллера и ее отладки с помощью этого пакета можно отражать на экране персонального компьютера (ПК) в реальном масштабе времени значения измеряемых и формируемых им сигналов, создавать их архивы в известных файловых форматах. Это позволяет наглядно сопоставлять графики изменения входных и выходных сигналов контроллера, расчетных значений и уставок, проводить дополнительную обработку полученных результатов и их анализ, в том числе программно в рамках других известных пакетов (Excel, Multisim и пр.). Эти возможности и было решено использовать не только при изучении самих контроллеров и типовых задач, которые решаются с их помощью, но и при выполнении последующих учебных работ.

Одной из типовых и часто встречающихся в промышленной автоматизации задач является регулирование. Поэтому, предварительно освоив азы работы с контроллерами, учащиеся в дальнейшем рассматривают возможности предоставляемые языками программирования и различными библиотеками контроллера для решения этой задачи при использовании различных законов регулирования, тех или иных способов формирования управляющего воздействия.

Одним из наиболее часто измеряемых и регулируемых технологических параметров является температура, поэтому при практической реализации таких работ в лаборатории используются эмуляторы печи. В данном случае это эмулятор печи ЭП10 компании ОВЕН. Каждый из них состоит из нагреваемого элемента – керамического сопротивления и терморезистора в качестве датчика. Достаточно легко при этом решается вопрос с формированием возмущающего воздействия на объект – в состав стенда включается вентилятор, который обдувает нагревательный элемент эмулятора печи. Изменяя скорость вращения вентилятора, можно менять уровень возмущающего воздействия.

Работая в пакете CoDeSys, учащиеся программно управляют элементами стенда. В ходе работы они прежде всего снимают разгонную характеристику объекта – получают ее на экране ПК и одновременно в виде файлового архива. На основании этого вручную по графику или на ПК

программно ими производится расчет коэффициентов законов регулирования для исследуемого объекта. В дальнейшем для контроллера, используя полученные результаты, создаются программные решения для регулирования температуры печи. Проводя эксперименты, применяя в ходе их выполнения различные законы регулирования, меняя параметры регулирования, учащиеся наглядно на экране ПК в форме временных зависимостей наблюдают к чему приводят те или иные изменения – работа приобретает исследовательский характер. Важнейшим фактором проведения работы в такой форме является простота перехода от одного варианта регулирования к другому (запускаются соответствующие программы), изменения параметров регулирования (меняются параметры в программе), получения наглядных результатов (на экране ПК). Общая схема построения лабораторного стенда по изучению возможностей свободно программируемых контроллеров для регулирования с визуализацией результатов экспериментов демонстрируется на рис. 1.

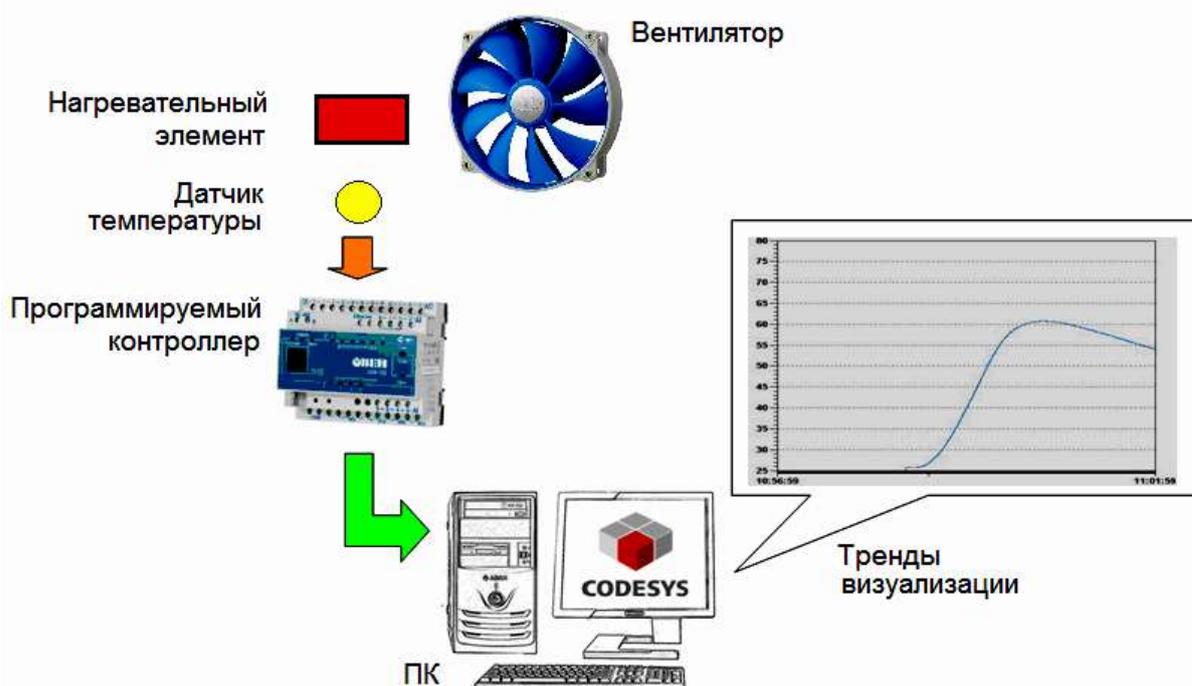


Рис. 1. Общая схема лабораторного стенда изучения возможностей контроллера для регулирования

Для регулирования параметров процесса могут применяться и специализированные контроллеры – регуляторы. Это микропроцессорные устройства, в которых программа регулирования жестко зашита – можно менять только параметры реализуемого закона регулирования. Регуляторы представляют один из широко применяемых классов специализированных устройств автоматики, поэтому изучение вопросов работы с ними также

включено в учебный процесс. В лаборатории для знакомства с этим классом устройств используется регулятор ТРМ251 компании ОВЕН, который достаточно полно отражает функционал подобных приборов.

Работа по регулированию с помощью ТРМ251 ведется с тем же объектом, что и ранее при программной реализации регулирования на контроллере – с имитатором печи. Поэтому параметры объекта (коэффициенты законов регулирования) учащемуся уже известны. Ему предлагается использовать регулятор при различных законах регулирования, проанализировать, как будет меняться поведение объекта при корректировке коэффициентов закона регулирования, при изменении возмущающего воздействия. Понятно, без наглядного представления того как будет вестись процесс регулирования что-то анализировать учащемуся будет невозможно. Конечно, сегодня в качестве регуляторов используются современные приборы имеющие даже графический экран на котором могут отражаться графики измеренных сигналов. Однако такие приборы редки, а размеры и разрешающая способность их экранов не позволяют проводить наблюдения с нужной точностью. Вместе с тем, выше мы уже говорили о подходе, когда измеренные значения отражаются на экране ПК. Для того чтобы увидеть как ведет себя объект при работе с регулятором нужно лишь «запараллелить» измерение объекта с помощью стенда с контроллером.

Учитывая, что параметризовать регулятор можно с помощью специальной программы на ПК, общая структура лабораторного комплекса представляется так, как это показано на рис. 2.

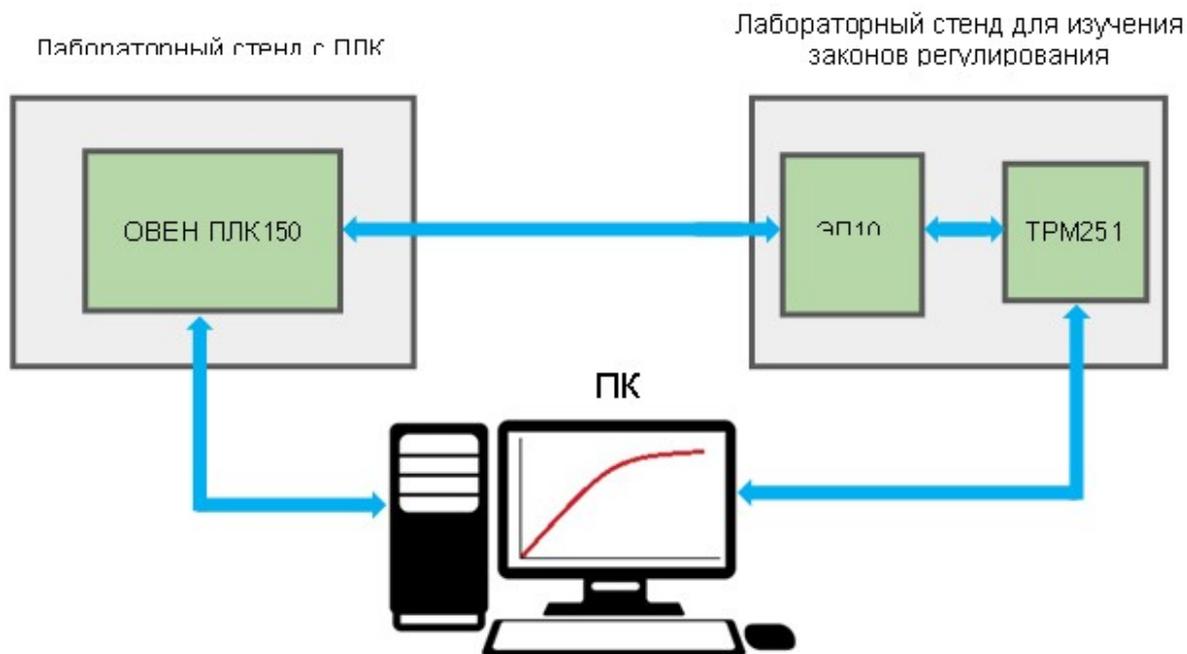


Рис. 2. Структура лабораторного комплекса по изучению различных средств регулирования

Таким образом стенды работы с ПЛК и со специализированным регулятором выступают в качестве единого комплекса позволяющего сравнивать результаты регулирования с помощью программных средств ПЛК и специализированного регулятора, но самое главное при работе с любыми техническими средствами проводить работы максимально наглядно.

Для того чтобы студенту, работающему за разрабатываемым лабораторным стендом не тратить время на написание программ, конфигурацию ПЛК и визуализаций был создан набор готовых проектов для каждого закона регулирования, а также для снятия разгонной характеристики объекта регулирования. Каждый такой проект содержит в себе программу, реализующую тот или иной закон регулирования, конфигурацию ПЛК и визуализацию с необходимыми настройками. Студент, открыв готовый проект, не тратя времени, сможет сразу перейти непосредственно к изучению законов регулирования. Безусловно, в любом таком готовом проекте можно изменять программу, добавлять новые функциональные блоки, менять параметры или изменять настройки визуализаций, т.е. создается некая исследовательская среда для работы.

Комплексный подход к применению лабораторного оборудования в учебном процессе используется и при изучении учащимися многих других вопросов. Так базовым принципом построения современных систем управления является использование распределенных структур, когда она состоит из нескольких вычислительных «интеллектуальных» компонентов, образующих общую информационную сетевую среду. Современные контроллеры и регуляторы почти все без исключения имеют средства для обмена данными с другими устройствами с использованием сетевых технологий. Таким образом представленный комплекс используется еще и для рассмотрения этих вопросов. Кроме этого в лаборатории имеются стенды с преобразователями частоты, операторными панелями, модулями удаленного доступа. Все это позволяет в рамках лаборатории формировать достаточно разветвленные сетевые структуры и изучать вопросы сетевого взаимодействия устройств достаточно широко и детально.

Список литературы

1. Шишов О.В. Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 365 с.
2. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЭК И ЖКХ

<i>Бикулов А.Р., Козелков О.В.</i> Анализ и исследование систем контроля и управления режимами работы электроснабжения нефтегазодобывающих предприятий.....	3
<i>Гиниатуллин Р.М., Ганиев Р.Н.</i> Система контроля углеводородов в воде.....	8
<i>Жбанова В.Л.</i> Матричный фотоприемник для контроля работ в печах...	12
<i>Ключников О.Р., Астраханов М.В.</i> Разработка лабораторной установки и метода измерения составляющих теплотерьер материалов.....	18
<i>Козелков О.В. Терешин В.С.</i> Датчики технологических параметров.....	20
<i>Кубанго Б.Э., Кашаев Р.С.</i> Автоматизация системы управления ядерного магнитного резонанса анализатора второго поколения.....	22
<i>Кузнецов Б.В.</i> Разработка требований к ремонтпригодности средств контроля и диагностики.....	27
<i>Ломакин И.В., Латыпов Р.Ф.</i> Алгоритм функционирования стенда для анализа конечных автоматов с памятью.....	29
<i>Ломакин И.В., Туктаров П.В.</i> Оценка возможности организации текущего контроля состояния системы электропитания автомобиля.....	34
<i>Махортова Н.В., Победа Т.В.</i> Дефекты контактирующих поверхностей и их влияние на качество виброакустического сигнала.....	40
<i>Парфенова В.С., Козелков О.В.</i> Исследование процесса измерения параметров расхода скважинной жидкости.....	46
<i>Тунг Ч.В., Киен Н.Т., Кашаев Р.С.</i> Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом протонного магнитного резонанса.....	48
<i>Хисматуллин А.С., Сиротина Е.В.</i> Применение нечеткой логики для диагностики масляной изоляции трансформатора.....	53
<i>Хусаенов А.Р., Кашаев Р.С., Козелков О.В.</i> Применение тиристорного преобразователя для изменения частоты ротора бурового станка по данным измерений вязкости бурового раствора.....	57
<i>Шарафутдинова Г.Р., Гимазетдинов А.А., Козелков О.В.</i> Сравнительная оценка эффективности средств неразрушающего контроля и диагностики.....	60

**Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ**

<i>Альберто П.М., Лопухова Т.В.</i> Тепловизионная диагностика электрооборудования подстанции Виана, Республика Ангола.....	61
<i>Баширова А.Д.</i> Исследование измерительного комплекса для обеспечения вентиляции бассейна.....	68
<i>Быкова А.Ю., Новиков Г.Ю.</i> Газоаналитический датчик для определения СО и СО ₂ в выбросах ТЭС и котельных с ионизацией исследуемой газовой смеси в барьерном разряде.....	70
<i>Гимазетдинов А.А., Шарафутдинова Г.Р., Козелков О.В.</i> Устройства защиты асинхронных электродвигателей.....	71
<i>Гиниятуллина Э.И.</i> Модель производственного предприятия на основе возобновляемых источников энергии.....	72
<i>Грачева Е.И., Алимова А.Н.</i> Исследование методов расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства.....	73
<i>Грачева Е.И., Алимова А.Н.</i> Влияние основных параметров электрооборудования на потери электроэнергии в низковольтных сетях.....	82
<i>Губаева О.Г., Губаев Д.Ф.</i> Моделирование переходных процессов при однофазных замыканиях на землю в сетях с изолированной нейтралью.....	93
<i>Губаева О.Г., Губаев Д.Ф., Шайдуллин И.А.</i> Актуальность исследований феррорезонансных процессов в сетях среднего класса напряжений.....	95
<i>Губайдуллин А.Г., Корнилов В.Ю.</i> Проект частотно-регулируемого электропривода установки электроцентробежного насоса.....	97
<i>Давыдов Д.А., Наумов В.С.</i> Повышение качества сушки сыпучих материалов в СВЧ-установке с помощью системы управления.....	98
<i>Данилов П.Е., Барышников В.А.</i> Электропривод с импульсным регулированием в цепи ротора для крановых механизмов.....	101
<i>Дикарев П.В., Макаров А.М., Волков И.В.</i> Разработка и исследование компактной мобильной когенерационной установки.....	103
<i>Дунаева Т.Ю., Шалыгин А.С.</i> Система электрообогрева резервуаров в ТЭК.....	105

<i>Желтов А.С., Буллер А.Е., Хрюкин Д.Ю., Кузьмин Н.В., Румянцева Е.А.</i> Сравнительный анализ энергоэффективности преобразователей частоты в составе автоматизированного электропривода.....	112
<i>Климаш В.С., Табаров Б.Д.</i> Исследования трансформаторной подстанции с пускорегулирующим устройством в аварийных режимах работы.....	118
<i>Клименко Е.А.</i> Разработка стенда для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей.....	123
<i>Ковженкин В.С., Вайтеленок Л.В.</i> Оценка точности работы фильтров Фурье в устройствах релейной защиты при несинусоидальных и нестационарных входных сигналах.....	125
<i>Корнилов В.Ю., Мухаметшин А.И.</i> Модернизация электроприводов штанговых глубинных насосных установок на основе энергоэффективных асинхронных электродвигателей с комбинированной двухслойной обмоткой.....	132
<i>Кузнецов А.Б.</i> Сравнительная оценка качества преобразователей частоты.....	134
<i>Курир В.И.</i> Электрогенераторы ветроэлектроустановок.....	136
<i>Лобанова С.Ю., Корнилов В.Ю.</i> Исследование процесса нагревания асинхронного двигателя под нагрузкой.....	139
<i>Львова Т.Н.</i> Преобразователи частоты Altivar Process для автоматизации технологических процессов.....	140
<i>Маджитов Д.Х., Андреев Н.К.</i> Разработка энергосберегающей системы электропривода для автономного водоснабжения жилого здания....	142
<i>Мухаметгалеев Т.Х., Хабибуллина Р.А., Загидуллина Р.Р.</i> Высоковольтные преобразователи частоты для управления электроприводами в ЖКХ.....	143
<i>Мясников М.А., Мухаметгалеев Т.Х.</i> Особенности реализации вентиляционных систем с применением преобразователей частоты VLT-102....	146
<i>Николаев В.Ю., Ганиев Р.Н.</i> Электропривод поточной линии обрезивания текстильного корда.....	147
<i>Осмоловский Е.Е., Мухаметгалеев Т.Х.</i> Современные системы скалярного и векторного управления скоростью электропривода с инерционной нагрузкой.....	151

<i>Петров Т.И., Сафин А.Р.</i> Явление пульсации мощности в линейных двигателях.....	154
<i>Рахимова Р.А., Погодицкий О.В.</i> Исследование измерительного блока уровня воды для качественной водоподготовки бассейна.....	160
<i>Субаев А.Г., Рябишина Л.А., Абызбаев И.И.</i> Энергоэффективность внедрения частотно-регулируемого центробежного электронасоса при добыче нефти.....	161
<i>Фарукишин Д.Р., Мухаметгалеев Т.Х.</i> Применение каскадной схемы управления в ЧРП насосной установки.....	165
<i>Хуснутдинов А.Н., Киснеева Л.Н., Маслахова М.Н.</i> Экспериментальные исследования эксплуатационной надежности обмотки асинхронного двигателя.....	166
<i>Цыбрый И.К., Ермоленко И.М., Шишкин Г.Г.</i> Сравнительный анализ пусковых характеристик редукторного и безредукторного приводов радиолокаторов.....	168
<i>Черникова Ю.С., Лукин С.В.</i> Влияние параметров наружного воздуха на характеристики энергетических ГТУ.....	172
<i>Шарипов Р.Р., Владимиров О.В.</i> Программно-алгоритмическое обеспечение стенда для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей до 1000 В.....	176
<i>Щелочков Н.Н., Кислицин А.Л.</i> Инструментальное обследование режимов электрической сети предприятия.....	177
<i>Юсупова А.А., Грачева Е.И.</i> Повышение эффективности и надежности эксплуатации кабельных линий.....	180
<i>Якупова П.И.</i> Средства мониторинга состояния контактных соединительных распределительных устройств электроснабжения.....	181
Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЭК И ЖКХ	
<i>Абзалова Л.А.</i> Проблемы и перспективы развития биогазовых технологий.....	189
<i>Бобылев М.Г., Демидов А.Ю.</i> Моделирование АСР расхода регенерируемой воды в процессе химводоподготовки.....	190
<i>Галковский В.А., Прудникова О.Н.</i> Анализ применения централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения жилищно-коммунального сектора.....	193

<i>Гришин Е.Ю.</i> Выбор тепловой изоляции для водяной тепловой сети....	199
<i>Долгова А.Н., Арсланов А.Р.</i> Получение водорода на предприятиях водоподготовки.....	204
<i>Емельянов Д.В., Васильев И.П., Рогов А.Е.</i> Концепция развития маневровых тепловозов с гибридной силовой установкой для ОАО «РЖД»...	206
<i>Еременко О.В.</i> Инновационные решения в области автоматизации объектов энергопотребления нефтегазодобывающего предприятия.....	211
<i>Еременко О.В., Новикова А.С.</i> Инновационные подходы при модернизации верхнего силового привода буровой установки.....	213
<i>Ермолаева В.В.</i> Использование интернет-технологий при проектировании объектов энергетической промышленности.....	215
<i>Камалов Р.Ф., Караева Ю.В., Здор В.О.</i> Интенсификация теплообмена при течении мазута в каналах теплообменных аппаратов.....	219
<i>Камалов Р.Ф., Здор В.О., Ермолаев Д.В.</i> Эффективность работы мазутоподогревателя при течении мазута М100.....	221
<i>Кашта А.И., Фетисов Л.В.</i> Анализ методов распределения и учета тепловой энергии в жилых и общественных зданиях.....	222
<i>Левина Т.М.</i> Применение высокочувствительных измерительных систем электрического тока и магнитного поля в топливно-энергетическом комплексе.....	224
<i>Лондонов С.А., Любова Т.С.</i> Анализ модульной провой и водогрейных котельных.....	229
<i>Михайлов М.А., Пеннер А.И.</i> Исследование энергетических принципов преобразования солнечной энергии на предприятиях.....	235
<i>Новичко С.В., Глебов А.А.</i> Анализ влияния видов дефектов на длительность ремонта двухконтурного котла-утилизатора.....	239
<i>Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Стрекалова В.И., Капкина Е.С., Березина В.П., Климов Е.Ю.</i> Способ количественного анализа тепловых изображений (термограмм).....	243
<i>Ростунцова И.А.</i> Анализ применения гидропаровых турбин в тепловых схемах ТЭС.....	248
<i>Ростунцова И.А., Бурмистров Н.А.</i> Исследование форсировочных режимов блоков АЭС с целью получения пиковой мощности.....	253

<i>Ростунцова И.А., Петров А.С.</i> Оптимизация схемных решений ПГУ 420 МВт.....	259
<i>Сараева Е.Д., Гаврилов Ю.С.</i> К вопросу об обеззараживании воды с помощью ветозвукового поля.....	264
<i>Сурикова А.Н.</i> К вопросу о необходимости обезвоживания нефтешламов.....	266
<i>Хайрзаманов Н.И., Сарваров А.С.</i> Пути модернизации электроприводов котлов ПТВМ-120 в МП трест «Теплофикация», г. Магнитогорск.....	268
<i>Хисматуллин А.С., Камалов А.Р., Имангулов Э.А.</i> Исследование процесса охлаждения в масляных трансформаторах под влиянием конвекции.....	274
<i>Хлютин П.А., Хабибуллин Т.Р.</i> Разработка алгоритма производства энергоэффективных ветрогенераторов с применением нанотехнологий...	276
<i>Хуснутдинова И.Г., Биткулов Р.Д., Баширова Э.М.</i> Конструкция электромагнитно-акустических преобразователей и применение электромагнитно-акустического метода.....	280
Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ	
<i>Ажигина Е.А., Лебедева М.Ю.</i> Анализ текстовых документов как инструмент повышения качества высшего образования в сфере инженерно-технической деятельности.....	287
<i>Будникова И.К.</i> Интеграция инженерного образования и цифровых технологий.....	291
<i>Доломанюк Л.В., Ившин И.В., Сафин А.Р., Гибадуллин Р.Р., Степанова Е.М.</i> Основные направления стратегического развития системы высшего образования в РФ.....	293
<i>Елизаров В.Н.</i> Опыт организации практикумов по современным промышленным технологиям автоматизации.....	297
<i>Карташова А.А., Зиновьев А.М., Яруллина А.Р.</i> Инновационное развитие системы кадрового обеспечения Иннокама как фактор устойчивого развития экономики.....	303
<i>Моисеева О.В.</i> Методы преподавания дисциплины «Электротехника и электроника» у студентов транспортных специальностей.....	306
<i>Серова М.С., Синицын А.А.</i> Расчетно-экспериментальные исследования влияния влажности на теплофизические свойства строительных и теплоизоляционных материалов.....	313

<i>Степанова Е.М., Долманюк Л.В., Ившин И.В.</i> Анализ методики обучения инженерным расчетам по дисциплине «Сопротивление материалов».....	318
<i>Федорова Ж.В.</i> Гуманизация технического образования: тенденция или тенденциозность?	322
<i>Шишов О.В., Троянский А.В.</i> Комплексное изучение типовых технических средств промышленной автоматизации.....	326

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Сборник материалов
III Поволжской научно-практической конференции
7 – 8 декабря 2017 г.

В двух томах

Том 2

Компьютерная верстка И.В. Краснова
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 16.11.17.
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 19,76. Уч.-изд. л. 15,83. Тираж 500. Заказ № 5081.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51