

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Комитет образования, науки и молодежной политики Волгоградской области
ГБУ Волгоградской области «Центр молодежной политики Волгоградской области»
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
Волгоградский институт управления – филиал РАНХиГС
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»
ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградская государственная академия физической культуры»
Волгоградский филиал ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Плеханова»
МБОУ ВО «Волжский институт экономики, педагогики и права»
МБОУ ВО «Волгоградская консерватория (институт) имени П.А. Серебрякова»

XXVI РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

НАПРАВЛЕНИЕ

«ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

г. Волжский
19 ноября 2021 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Волжский, 2022

УДК 620.9+621.3+681.5
ББК 31

Организационный комитет:
Иваницкий М. С., Болдырев И. А., Одоевцева М. В.,
Зенина Е. Г., Куц Л. Р., Чубко Ю. М., Курьянов В. Н.

**XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей
Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые
технологии», г. Волжский, 19 ноября 2021 г.: тезисы докладов. –
Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2022. – 49 с.**

ISBN 978-5-94721-154-2

Тезисы докладов, вошедшие в сборник, освещают актуальные проблемы инновационного развития теплоэнергетики, электроэнергетики, отраслей промышленности в части создания, внедрения и использования цифровых технологий, являющихся факторами устойчивого и стабильного развития. Сборник предназначен для студентов, магистрантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

Тексты тезисов, представленные авторами, сверстаны и при необходимости сокращены. Как правило, сохранена авторская редакция.

Печатается по решению Учебно-методического совета филиала ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

**УДК 620.9+621.3+681.5
ББК 31**

ISBN 978-5-94721-154-2

© Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Волжском, 2022
© Авторы, 2022

ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков
Научный руководитель Ю. В. Гусева

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

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

Выполнен анализ потенциала выработки электрической энергии на ветровых станциях. Проведена оценка распределения объемов вырабатываемой электрической энергии по объединенным энергетическим системам России.

Развитие отечественной электроэнергетики предполагает повышение ее конкурентоспособности, в том числе за счет применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, особенно в условиях реализации концепции энергетической стратегии развития страны до 2035 года [1]. В условиях существования действующей единой энергосистемы, электрическая мощность которой составляет 245 ГВт, доля электрической энергии, генерируемая ветровыми электростанциями, равна порядка 0,138 ГВт.

Авторами в рамках выполненных исследований проведен детальный анализ потенциала выработки электрической энергии на ветровых электростанциях в условиях объединенных энергетических систем. При анализе характеристик ветровых электростанций рассмотрены энергетические системы Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Центра, Северо-Запада и Юга. Отмечено, что по состоянию на 2021 год в России вклад ветровых электростанций в суммарную выработку электрической энергии составляет порядка 1380 млн кВт·ч (0,13 % от общего количества выработанной электроэнергии на территории страны). Распределение объема вырабатываемой электрической энергии по объединенным энергетическим системам России представлено на рисунке.

Выполнен сбор и анализ технических характеристик отечественных ветровых электростанций. Выполнено сопоставление мощностных параметров и типов используемых на них генераторов. Результаты выполненного анализа данных применены для разработки методических подходов к обоснованию внедрения ветровых электростанций на территории Волгоградской области для снижения внешнего энергопотребления в условиях развития энергетической системы региона. По состоянию на 2021 год доля электрической энергии, генерируемая на территории объединенной энергетической системы Юга, от общего объема выработки составляет порядка 8 % [2].

Результаты обобщения данных показали, что суммарная электрическая мощность проектируемых и планируемых к вводу в ближайшее время на территории страны ветровых электростанций составляет порядка 4140 МВт, при этом мощность некоторых перспективных изолированных энергосистем соответствует 9 МВт.

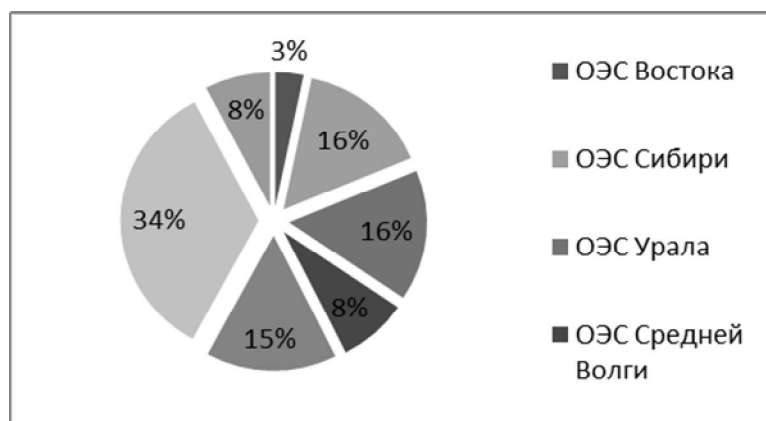


Рисунок. Распределение объема вырабатываемой электрической энергии по объединенным энергетическим системам России

Полученные результаты исследований позволяют осуществлять проведение детального прогнозирования и оценок при разработке топливно-энергетического баланса региона и запланированных темпов ввода новых объектов генерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск: ТПУ, 2015. – 130 с.
2. Ляшков, В. И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / В. И. Ляшков, С. Н. Кузьмин. – Тамбов: ТГТУ, 2003. – 96 с.

И. Н. Строков
Научный руководитель И. А. Болдырев

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

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

Рассмотрены варианты реализации схем подключения отопительных сетей зданий в современных индивидуальных тепловых пунктах. Приведены достоинства и недостатки наиболее распространенных схем. Обозначены направления дальнейших исследований.

В настоящее время широко осуществляется реконструкция и строительство индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) – комплексов инженерных конструкций, реализующих задачи регулирования параметров систем отопления и горячего водоснабжения зданий.

В связи с развитием микропроцессорных регулирующих устройств при внедрении новых объектов, как правило, осуществляется переход от элеваторных схем подключения систем отопления (рис. а) к электронно-регулируемым схемам (рис. б и в).

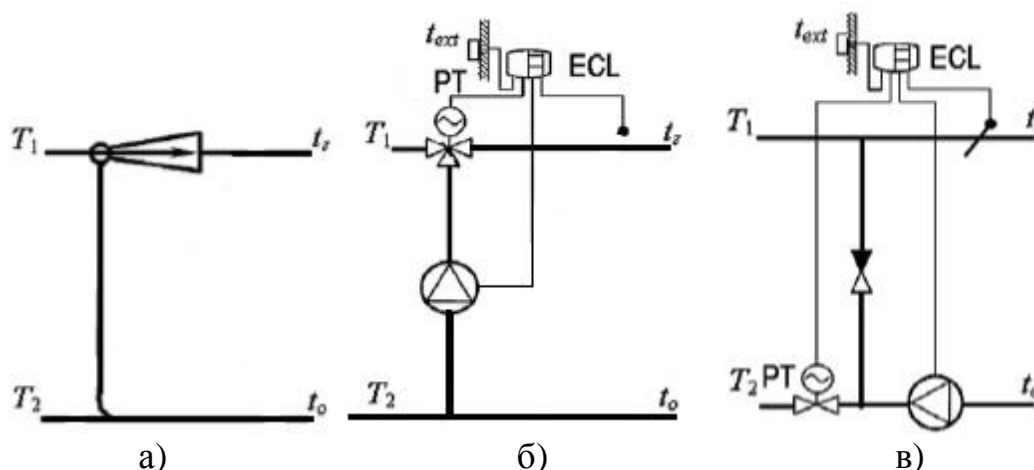


Рисунок. Варианты схем подключения систем отопления
 а – гидроэлеватор; б – насос на перемычке; в – насос на обратном трубопроводе

Гидроэлеваторная схема подключения имеет ряд недостатков, связанных с конструкцией и принципом действия. Такая схема предназначена для работы при постоянном гидравлическом режиме, поэтому не допускает применения терморегуляторов в помещениях отапливаемого здания, что не позволяет добиться значительной экономии тепловой энергии.

Регулируемая схема с насосом на перемычке (рис. б) является относительно простой, однако в такой схеме на эффективность циркуляции оказывают влияние колебания давления в теплосети. Также следует отметить, что в такой схеме расход в перемычке зависит от положения регулирующего клапана, что влияет на циркуляционный режим в системе отопления здания и требует применения насоса с регулируемой производительностью [1]. В здании филиала МЭИ в г. Волжском данная схема использовалась до 2021 года. В настоящее время осуществлена модернизация схемы по варианту рис. в. Преимуществом такой схемы является повышение стабильности режима циркуляции теплоносителя в системе отопления, так как регулирующий клапан не влияет на расход через перемычку, что положительно сказывается на общем режиме системы.

Предполагается проведение сравнительных исследований эффективности режимов работы отопительных сетей здания при разных вариантах реализации систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пырков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В. В. Пырков. К.: И ДП «Такі справи», 2007. – 251 с.: ил.

А. Р. Эль Занин
Научный руководитель С. В. Борознин

АТОМНАЯ СТАНЦИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ КАК ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РЕГИОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И КРАЙНЕГО СЕВЕРА

ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

Проведен анализ потребностей населения и промышленности Магаданской области в электроэнергии и тепле. На основании этого выдвинуто предположение о возможности размещения на территории региона атомной станции малой мощности. Подобраны оптимальные технические характеристики реакторной установки. Оценена экономическая целесообразность подобного решения. Проведен сравнительный анализ с другими используемыми в регионе источниками энергии.

Целью данной работы была оценка целесообразности использования в условиях регионов Дальнего Востока и Крайнего Севера на примере Магаданской области атомной станции малой мощности. На основе этой цели были поставлены следующие задачи.

1. Оценить потребности населения и промышленности региона в электроэнергии и тепле, возможность существующих объектов генерации их удовлетворять.

2. Исследовать возможность размещения атомной станции малой мощности на рассматриваемой территории, подобрать технические характеристики реакторной установки.

3. Оценить экономическую целесообразность данного решения.

В ходе работы были использованы следующие методы:

- анализ;
- сравнение;
- математическое моделирование;
- систематизация;
- метод долгосрочной индексации необходимой валовой выручки.

Актуальность работы обусловлена возрастанием потребностей промышленности, в значительной степени горнодобывающей, и населения регионов Дальнего Востока и Крайнего Севера в электроэнергии.

«Росатом» уже реализует проект по размещению атомной станции малой мощности в Якутии [1], там будет использован реактор РИТМ-200Н электрической

мощностью 55 МВт. Мы считаем, что аналогичное решение могло бы быть реализовано в Магаданской области, поскольку климатические условия и характер хозяйственной деятельности человека на данных территориях сходны.

По нашей оценке, первоначальные капиталовложения в строительство такого энергоблока составляют от 9,56 до 11,94 млрд рублей (без учета стоимости ЛЭП, автомобильной дороги к станции и пр.). Годовая выработка (при 300 сутках работы электростанции в год) электроэнергии при фактической электрической мощности в 30 МВт и КИУМ 90 % равняется 194,4 млн кВт·ч, тепла – 648 тыс. Гкал. Стоимость электроэнергии, рассчитанная по методу долгосрочной индексации необходимой валовой выручки, составляет от 2,08 до 2,40 руб./кВт·ч, стоимость тепла – от 623,6 до 720,0 руб./Гкал.

Вывод

На основании всего вышесказанного можно сделать следующее заключение: размещение атомной станции малой мощности на территории Магаданской области является экономически обоснованным решением. Атомная станция в условиях рассматриваемого региона довольно успешно могла бы конкурировать с другими объектами генерации, особенно с тепловыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атомные станции малой мощности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/production/atomnye-stantsii-maloy-moshchnosti>.

М. Б. Говорухина
Научный руководитель М. С. Иваницкий

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

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

Выполнен анализ подходов к оценке показателей надежности энергетического оборудования по фактическому техническому состоянию функциональных узлов и элементов. Определены технологические условия и основные функциональные узлы и элементы, характеризующиеся значительным количеством технологических отказов котельных установок и их вспомогательных систем.

Надежность оборудования лежит в основе процесса проектирования, обеспечивается при изготовлении, контролируется при эксплуатации. Техническое состояние характеризуется определенными параметрами при определенных внешних факторах. Техническое состояние и показатели надежности – это одни из главных технико-экономических показателей энергетического

оборудования. Техническое состояние объектов сказывается на их надежности и эффективности работы [1].

Главными причинами отказов котлов и их вспомогательного оборудования являются:

- высокая тепловая напряженность топок современных котлоагрегатов;
- нарушение герметичности пароводяного тракта;
- значительные термоциклические нагрузки;
- недостатки при проектировании оборудования, вызванного недостаточным учетом данных;
- длительная работа металла теплопередающих поверхностей при высоких давлениях и температурах [3, 4].

Цель исследования – оценка показателей надежности котельного оборудования по показателям технического состояния.

Так, в соответствии со стандартом ГОСТ Р 55173-2012 надежность котельных установок можно оценить с помощью следующих показателей и эксплуатационных факторов:

- средняя наработка на отказ;
- коэффициент технического использования;
- коэффициент готовности установки;
- расчетный срок службы;
- расчетный ресурс элементов, работающих при температуре, соответствующей области ползучести металла;
- установленный срок службы между капитальными ремонтами;
- удельная суммарная продолжительность ремонтов на один год ремонтного цикла [3].

Статистические данные по отказам в работе котлов представлены в таблице [2].

Статистические данные по отказам в работе котлов

Оборудование	Доля отказов, %
Поверхности нагрева	79,2
Вспомогательное оборудование	3,5
Топливоподача, газопроводы	2,0
Регенеративные воздухоподогреватели	0,1
Обмуровка	0,3
Арматура	4,9
Автоматика	7,4
Прочие	2,6

Таким образом, чтобы снизить риск отказов котельного оборудования, необходим расчет показателей надежности, которые помогут определить величину технического риска, соответствующего уровню фактического технического состояния оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Н. Л. Надежность электрических машин / Н. Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
2. Беляев, С. А. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС / С. А. Беляев, В. В. Литвак, С. С. Солод. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 218 с.
3. ГОСТ Р 55173-2012. Установки котельные. Общие технические требования. Национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2014. – 30 с.
4. РД 34.26.617-97. Методика оценки технического состояния котельных установок до и после ремонта. – М.: СПО ОРГРЭС, 1998. – 12 с.

Н. Г. Котолкян
Научный руководитель Ш. М. Милитонян

ТЕНДЕНЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

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

Представлен анализ используемых интеллектуальных систем в электроэнергетике с выявлением наиболее эффективной.

Большой скачок в развитии интеллектуальных систем и технологий позволяет перейти на новый уровень в развитии энергетической отрасли, который основывается на интеграции традиционных систем с автоматизацией, новыми коммуникациями и инновационными технологиями.

В данной работе рассматриваются интеллектуальные технологии и системы, активно исследуемые и внедряемые в электроэнергетике. Можно отметить, что главной задачей их внедрения является минимизация потери электроэнергии, увеличение генерации, оптимизация потребления, улучшение работы энергетических объектов. Автоматизация систем управления технологическими процессами является источником информации для верхних уровней управления, в связи с чем повышается эффективность, надежность и прибыльность работы предприятия. Помимо этого, использование интегрированных технологий существенно снижает негативное воздействие энергетических объектов на окружающую среду.

Искусственные нейронные сети – одна из таких систем, активно внедряемая на данный момент в различных областях. Она представляет собой современные вычислительные системы, преобразующие информацию по образу процессов, которые происходят в мозгу человека. Для искусственных нейронных сетей существует несколько методов обучения, представляющих собой настройку структуры связей между нейронами и влияющих на сигналы коэффициентов для эффективного решения поставленной задачи.

Выделяют три основополагающие парадигмы обучения нейросетевой системы. Первым способом является так называемый метод «с учителем»

(известны правильные ответы к каждому входному примеру, веса подстраиваются для минимизирования ошибки). Вторым возможным способом обучения нейросети является метод «без учителя» (или самообучение). Третий способ представляет собой совокупность описанных ранее решений, его называют «смешанным» методом.

Факторами, влияющими на эффективность использования описанных методов, являются: время обучения нейросети, погрешность результатов (рисунок).

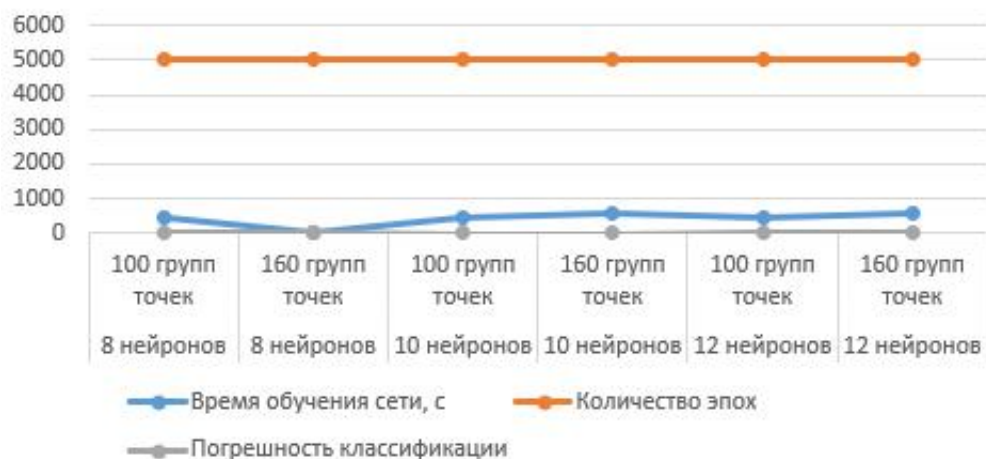


Рисунок. Результаты обучения нейронных сетей методом градиентного спуска с учетом моментов

Экспертная система – это компьютерная система, способствующая частичной замене специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации. Экспертные концепции понимаются равно как непростые программные комплексы, аккумулирующие познания экспертов в определенных сферах и в дальнейшем применяемые с целью консультаций менее грамотных юзеров. Основано огромное число экспертных концепций, которые обладают одним огромным различием с иными концепциями искусственного интеллекта: они не предназначены для решения каких-либо универсальных задач. Они предназначены для качественного решения задач в определенной разработчиками области, в редких случаях – областях. И несмотря на все ограничения и недостатки, экспертные системы продолжают показывать всю свою ценность и значимость в электроэнергетике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспертные системы [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная библиотека. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экспертная_система (дата обращения: 06.11.2021.)
2. Технологии и инновации в эпоху трансформации энергетического сектора [Электронный ресурс] // PWC. URL: https://www.pwc.ru/ru/power-andutilities/assets/technology_innovation_rus.pdf (дата обращения: 05.11.2021.)

Т. И. Бекметов
Научный руководитель Л. Р. Куш

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО УРОВНЮ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ

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

В работе приведены общие принципы хроматографического анализа растворенных в масле газов (ХАРГ) – одного из передовых на сегодняшний день методов выявления и диагностики развивающихся в трансформаторе дефектов, показаны его «слабые» стороны. Приведены сведения о применимости принятой в России разновидности метода к измерительным трансформаторам и названы причины, по которым данный подход неприменим.

Метод ХАРГ основывается на определении отношений концентраций различных пар газов, содержащихся в трансформаторном масле. Для каждого из этих отношений определены так называемые граничные концентрации или диапазоны типовых значений, превышение которых свидетельствует о развитии определенного вида дефекта электрической и (или) тепловой природы, развивающегося в трансформаторе, а также критерии скорости нарастания газов, указывающие на наличие быстроразвивающегося дефекта [1, с. 148].

Однако существующие его разновидности имеют недостатки. Получаемые в ходе оценки состояния результаты несут лишь условную смысловую нагрузку, так как определение вида прогрессирующего дефекта (тепловой или электрический) возможно только при росте концентраций углеводородного газа или водорода сверх граничных значений, определенных в нормативах [2, с. 11]. На это влияют такие факторы, как снижение концентраций газов в масле в негерметичном оборудовании и в случае протекания различных внутренних химических реакциях, возникающих при наличии дефекта. На текущий момент не определены единые граничные концентрации для фурановых газов. К тому же методики контроля, применяемые в разных странах, сильно отличаются друг от друга по критериям определения дефектов трансформатора и величинам граничных концентраций, что, в свою очередь, может привести к получению разных результатов для одного трансформатора.

Что же касается методики, применяемой в России, то требования к ее применению для измерительных трансформаторов (ИТ) тока и напряжения не прописаны в нормативных документах. К тому же в России не определены граничные концентрации газов в масле для ИТ, в связи с чем очень часто при подведении итогов оценки состояния руководствуются Стандартом ИЕС 60599 (МЭК) или нормами, включенными в РД для силовых трансформаторов и вводов. Данный подход является в корне неверным.

Также при анализе величин содержания газов за длительные периоды эксплуатации трансформаторов на энергопредприятиях выявлено существенное

различие этих величин для ИТ разного исполнения и классов напряжения. И все эти значения значительно ниже, чем величины, определенные в Стандарте ИЕС 60599 для измерительных трансформаторов и РД для силовых трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжкина, А. Ю. Анализ хроматографических методов диагностики маслонеполненного электрооборудования / А. Ю. Рыжкина // Сборник научных трудов НГТУ. – 2009. – № 2(56). – С. 147–156.

2. Львов, М. Ю., Кутлер, П. П. Физико-химические методы в практике оценки состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации: учебно-методическое пособие / М. Ю. Львов, П. П. Кутлер. – М.: ИУЭ ГУУ, ВИПК-энерго, ИПК госслужбы, 2003. – 20 с.

А. С. Сигель, М. В. Попова
Научный руководитель Е. Г. Зенина

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВНЕШНИМИ ФАКТОРАМИ, НА РАБОТУ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

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

Представлена модель устройства регистрации и передачи электромагнитных волн, возникающих из-за молний и дугообразования в цепях. Предложен способ минимизации влияния данных помех на работу МП РЗ.

В релейной защите нового поколения, построенной на микропроцессорной элементной базе, возникает необходимость восстановления полезного сигнала. Под воздействием таких малопредсказуемых факторов, как удары молний, дугообразование при коммутациях, влияние пусковых токов и т. п., на исходный сигнал накладываются помехи, как правило, содержащие гармоники высших порядков, кратные и некратные основной частоте, а также дополнительные составляющие. Влияние таких помех обуславливает ложные срабатывания устройств РЗ, а также неадекватную их работу. Грозовые разряды являются самым мощным источником импульсных воздействий на аппаратуру электростанций и подстанций. Каждую секунду около 50 молний ударяются в поверхность земли, и в среднем каждый ее квадратный километр молния поражает шесть раз за год.

При ударе молнии в конструкцию на территории подстанции, находящуюся вблизи от трассы вторичных кабелей, вероятно появление на заземлении этой конструкции импульсного потенциала порядка десятков (в некоторых случаях – сотен) киловатт. Даже если пробоя изоляции вторичных кабелей не произойдет, в соответствующих вторичных цепях можно ожидать появления помех амплитудой до нескольких киловатт за счет индуктивных и емкостных наводок.

Оценить количественно величину импульсного перенапряжения, возникающего при грозовых разрядах на действующих энергообъектах, довольно сложно.

Для решения данной проблемы в настоящее время в измерительном органе устройств РЗ применяется ряд мер, в том числе интеграция цифровых фильтров (ЦФ). В большинстве случаев алгоритм их функционирования строится на основе метода наименьших квадратов, на базе дискретного преобразования Фурье, формирования ортогональных составляющих и прочих методик, определяемых в первую очередь компонентами помехового сигнала. Недостатками существующих ЦФ являются рост погрешности выделения исходного сигнала при отклонении его частоты от номинальной, а также сложность реализации алгоритмов обработки.

В данной работе рассматривается возможность дополнения и улучшения существующих алгоритмов работы ЦФ за счет интеграции электромагнитного ловителя, предназначенного для регистрации электромагнитных волн, вызываемых ударами молний и коммутациями в высоковольтных цепях.

Антенна состоит из диполя под действием электрического поля, на котором наводится ЭДС, пропорциональная напряженности поля. Сигнал с диполя подается на СВЧ-разъем. Измерение напряженности электрического поля сводится к измерению напряжения на выходе антенны при помощи измерительного прибора, подключенного к выходу антенны.

Устройство передает аналоговый сигнал, пропорциональный грозовому (искровому) разряду, который в последующем дискретизируется наряду с сигналами от силовых цепей. Далее при помощи блоков арифметических операций производится вычитание дискретного сигнала от электромагнитного ловителя из вторичного сигнала силовых цепей. Таким образом, обеспечивается минимизация искажения сигнала, поступающего на устройства РЗ, возникающего в результате внешних возмущений.

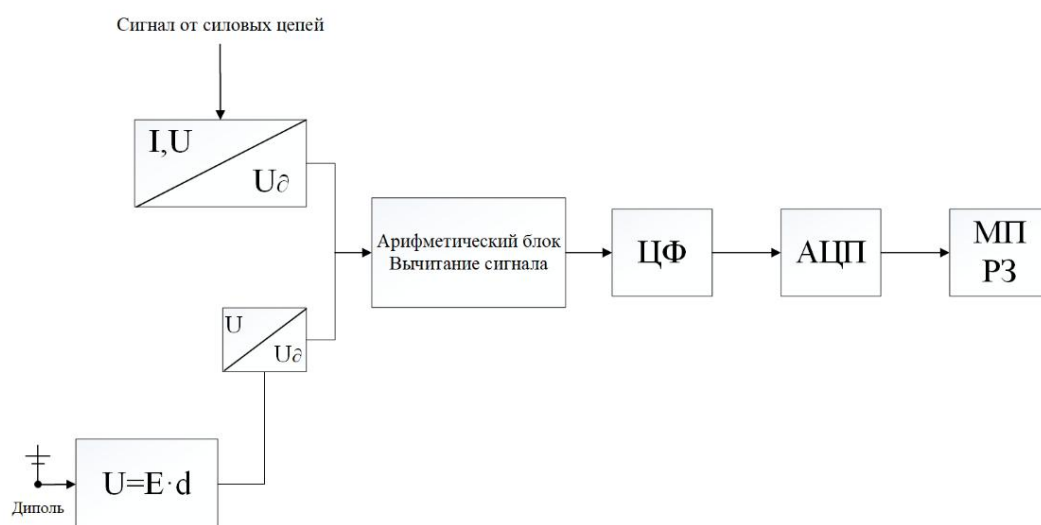


Рисунок. Структурная схема системы фильтрации и обработки сигналов

Экономическая целесообразность внедрения данного устройства обусловлена сравнительной дешевизной установки в сочетании с существенным снижением числа ложных срабатываний защитных устройств, а также простотой и надежностью конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фесенко, М. Е., Скорик, В. Г. Проблема ложной работы устройств РЗА на подстанциях 110–750 кВ / М. Е. Фесенко, В. Г. Скорик // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2020. – № 4 (25).
2. Шестаков, Н. С., Зацепина, В. И. Проблема воздействия различного электромагнитного излучения на микропроцессорную аппаратуру / Н. С. Шестаков, В. И. Зацепина // Modern science. – № 12 (3). – 2020. – С. 327–329.

Ю. В. Дмитриева, А. С. Круглова
Научный руководитель Л. Р. Куш

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

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

Рассмотрены способ снижения потерь электроэнергии на линиях электропередач с использованием сверхпроводников, а также их достоинства и недостатки, оценивается экономическая выгода и экологичность внедрения инновационных технологий.

Мы живем в эпоху технологий, и электроэнергия является одной из самых важных составляющих, поэтому внедрению инновационных технологий в сфере электроэнергетики нужно уделить особое внимание.

С каждым годом рост потребления электроэнергии растет. Но строительство предприятий генерации вблизи потребителей не всегда возможно. Поэтому линии электропередачи могут растягиваться на сотни километров, а при передаче электроэнергии на большие расстояния потери мощности неизбежны.

Явление сверхпроводимости привлекает внимание ученых еще с прошлого века. Данное оборудование позволит резко увеличить электрические и магнитные нагрузки в элементах устройств, уменьшая их размеры. Магнитные поля можно довести до значений порядка 10 Тл, в то время как в обычных машинах около 1 Тл.

Учитывая плотность тока, стоимость воздушных линий электропередачи из сверхпроводников в сравнении с проводами из алюминия или меди невелика, а стоимость кабельных линий будет ниже.

Так, на примере провода сечением 10 мм² рассмотрим экономическую выгоду внедрения сверхпроводников. Известно, что плотность сверхпроводников

примерно равна 10^2 А/мм². Плотность тока алюминиевого и медного проводов равны 3,5 и 5 А/мм² соответственно.

Тогда найдем мощности, кВт, пренебрегая потерями:

$$P_c = I_c \cdot U = 10^3 \cdot 10^3 = 10^3;$$

$$P_a = I_a \cdot U = 35 \cdot 10^3 = 35;$$

$$P_m = I_m \cdot U = 50 \cdot 10^3 = 50.$$

Средняя стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч, продаваемой ГЭС, $w = 0,3$. Тогда за время $\tau = 1$ ч мы получаем выручку:

$$R_c = P_c \cdot \tau \cdot w = 10^3 \cdot 1 \cdot 0,3 = 3000;$$

$$R_a = P_a \cdot \tau \cdot w = 35 \cdot 1 \cdot 0,3 = 105;$$

$$R_m = P_m \cdot \tau \cdot w = 50 \cdot 1 \cdot 0,3 = 150.$$

Здесь мы можем наблюдать, что прибыль от использования сверхпроводников во много раз превышает прибыль от традиционных материалов. Даже учитывая первоначальные вложения, применение данной технологии является рентабельным.

Но сверхпроводники, как и любые материалы, имеют свои достоинства и недостатки. Достоинства заключаются в преобразовании электросети, технология которой позволяет без потерь проводов и кабелей повысить надежность и эффективность энергосистемы. Недостатки сверхпроводников состоят в том, что работают они только при температуре ниже температуры перехода.

Таким образом, внедрение технологии снижения потерь является экономически выгодным. Также за счет снижения потерь можно снизить объем производства, что приведет к уменьшению выбросов от станций.

Ю. А. Колтун
Научный руководитель М. С. Иваницкий

НОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРАДИРЕН ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА

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

Выполнен анализ основных параметров, влияющих на эффективность работы градирен испарительного типа. Определены технологические условия и метрологические параметры, на основе которых формируются нормативные характеристики охлаждающей способности градирен. Рассмотрены основные способы повышения эффективности работы градирен испарительного типа.

Градирни являются одним из главных элементов технологического процесса электростанций. Их широкое применение обусловлено высокой эффективностью процессов теплообмена, протекающих при контакте охлаждаемой воды и атмосферного воздуха. В эксплуатационных условиях проверка качества работы градирен испарительного типа гарантируется при наличии достаточно точных технологических данных. Контроль за работой градирни может осуществляться при проведении испытаний. Одним из важнейших типов испытаний являются балансовые. При осуществлении балансовых испытаний могут быть определены параметры и их соотношения, создающие процессы теплообмена и охлаждения и их изменения в зависимости от внешних условий [3].

На основании итогов балансовых испытаний градирен производится создание нормативных характеристик. Они отображаются в виде графиков зависимостей температуры охлажденной воды и температуры воздуха по влажному термометру от изменения тепловой нагрузки градирни [2].

Нормативная характеристика охлаждения воды в градирне представляется в виде аналитической зависимости:

$$\tau = \frac{1}{2a} \left(ax + \epsilon \Delta t - \sqrt{\frac{3A}{\left(\frac{x}{54,4}\right)^2 + C}} \right), \quad (1)$$

здесь $A = \sqrt{\frac{\xi}{H_g} \frac{g \Delta t}{\Psi}}$, где $\Psi = \sqrt{\frac{\phi}{1 + 0,5\phi}}$ – зависимости для построения поправочного графика на влажность воздуха; τ – температура воздуха по мокрому термометру, °С; ξ – общий коэффициент сопротивления градирни; H_g – действующая высота тяги башни, м; ϕ – относительная влажность воздуха, %.

Для оценки эффективности охлаждающей способности градирни испарительного типа необходимо проследить ее зависимость от интенсивности теплообмена и массообмена. Соответственно первый процесс происходит при контакте воды с воздухом, а второй – в результате испарения воды с ее развернутой поверхности. Одновременное протекание процессов теплообмена и массообмена приводят к образованию единого процесса переноса тепла.

Основными параметрами технологического процесса, воздействующими на охлаждающую способность градирни, являются количество охлажденной воды и температурный режим.

Также существует не менее значимый параметр – плотность орошения, которая тесно связана с объемом оборотной воды. Плотность орошения представляет собой отношение количества охлаждаемой воды к площади градирни.

Чем ближе температура воды, которая прошла охлаждение, к температуре

«мокрого» термометра, тем меньше будет плотность орошения. Сильно завышенное значение данного параметра приводит к недоохлаждению оборотной воды и вследствие этого нарушению технологического режима работы оборудования.

На охлаждающую способность градирни испарительного типа влияют также метеорологические параметры. Температура окружающей среды, скорость и направление ветра напрямую влияют на устойчивость охладительного эффекта.

С развитием научно-технического прогресса представляется целесообразным выявление новых методов совершенствования работы градирни [1].

Оптимизировать работу градирни можно за счет:

– приближения температуры охлажденной воды к температуре влажного термометра без повышения затрат энергии;

– уменьшения количества воды, выводимой из замкнутого цикла водоснабжения за счет уноса водяных капель через горловину градирни.

Также для повышения эффективности работы градирен возможен комплексный подход к реконструкции самих градирен и взаимосвязанных с ними технологических узлов. При отрицательных температурах наружного воздуха естественная тяга воздуха в градирне повышается, что приводит к снижению температуры охлажденной воды. Как следствие, это приводит к обледенению градирни.

Установка на воздухоподводящих окнах градирни поворотных или съемных щитов является наиболее эффективным методом предотвращения обледенения и регулирования температуры охлаждающей воды. Поворотные щиты обеспечивают возможность в широком диапазоне регулировать расход воздуха, поступающего в градирню, и даже при малых тепловых нагрузках и низких температурах наружного воздуха обеспечить поддержание температуры охлажденной воды в требуемом диапазоне.

В работе проведен анализ нормативных характеристик охлаждающей способности градирен испарительного типа. Рассмотрены технологические и метеорологические параметры, влияющие на эффективность градирен, а также способы ее повышения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведыгаева, И. А., Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен: монография / И. А. Ведыгаева, А. Г. Лаптев. – Казань: КГЭУ, 2004. – 180 с.
2. Брызгалов, В. И., Гордон, Л. А. Гидроэлектростанции: учебное пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.
3. СО 34.22.302-2005. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа. – М.: Филиал ОАО «Инженерный центр ЕЭС» – «Фирма ОРГРЭС», 2005. – 9 с.
4. СО 34.22.303-2005. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа. – М.: Филиал ОАО «Инженерный центр ЕЭС» – «Фирма ОРГРЭС», 2005. – 24 с.

В. Д. Виснер
Научный руководитель М. С. Иваницкий

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В СЛОЕ

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

В работе рассмотрены технологии сжигания твердых топлив в кипящем слое котлов, изучены варианты строения и компоновки топок с кипящим слоем.

В процессе эксплуатации энергоблока с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) № 9 Новочеркасской ГРЭС мощностью 330 МВт выявлен ряд проблемных вопросов. Что касается наладки котла ЦКС блока № 9 Новочеркасской ГРЭС мощностью 330 МВт, то проблему можно решить не заменой угольных дробилок, а помолом золы донного кипящего слоя (КС) с ее возвратом. В горячих опытах, также на монофракциях различных углей, были определены времена сушки, воспламенения летучих и кокса и их догорания. Изучены процессы формирования механического недожога с уносом и выявлены бимодальный закон формирования уноса, три стадии горения и три стадии формирования уноса, характерных для антрацита, тощего, каменных и бурых углей [1].

В связи с проблемами в эксплуатации энергоблока с ЦКС был произведен анализ компоновок топок с ЦКС с целью последующего рассмотрения режимов работы котлов большой мощности и определения оптимальных параметров сжигания твердого топлива.

Рассмотрено техническое решение, позволяющее снизить трудоемкость изготовления топки КС путем введения шурующей планки, которая имеет возможность возвратно-поступательного движения по поверхности неподвижной воздухораспределительной решетки. Она обеспечивает перемещение топлива и шлака вдоль этой решетки. Также производится установка сопел для ввода вторичного воздуха, непосредственно встроенных в ограждающие стены. Повышение эффективности выжигания шлака обуславливается совмещением направленного перемещения материала слоя по неподвижной воздухо-распределительной решетке в сторону опрокидывающегося колосника с интенсивной шуровкой, то есть ворошением материала слоя посредством шурующей планки. Помимо повышения эффективности выжигания шлака данный подход позволяет снизить эксплуатационные затраты и трудоемкость изготовления топки кипящего слоя, уменьшение ее веса и габаритов, повышение надежности [2].

Одним из аналогичных решений является способ, который обеспечивает повышение эффективности работы топки котлов с КС путем равномерного распределения топлива в КС при упрощении конструкции топки. Топка КС содержит вертикальную камеру сгорания, которая снабжена питателем топлива и воздухораспределительной решеткой с отверстиями для подвода окислителя

(воздуха), которая располагается над узлом подвода окислителя. Решетка отличается тем, что она выполнена неподвижной в виде четырехгранной пирамиды, в каждой грани которой выполнены отверстия для подвода окислителя, при этом вершина пирамиды направлена в сторону узла для подвода воздуха. Указанные признаки позволят упростить конструкцию топки и регулирование подачи воздуха [3].

Повышение тепловосприятия топки с реактором форсированного КС и увеличение мощности котла можно достичь за счет дополнительных конструктивных способов. При этом улучшается работа топки и котла на разных режимах по нагрузке и уменьшаются выбросы оксидов азота. Данная конструкция топки дает возможность сжигания крупнодробленого топлива и снижения энергетических затрат на его измельчение путем повышения скорости ожигания кипящих слоев, благодаря уменьшению площадей воздухораспределительных решеток.

Так, применение реактора форсированного КС с меньшей, по сравнению с площадью горизонтального сечения, топочной камерой, позволяет поднять скорость ожигания КС до 5 м/с и более. Это дает возможность сжигать крупнодробленое топливо с максимальным куском до 50 мм и, следовательно, существенно уменьшить затраты на дробление [4].

Создание условий для более полного дожигания летучих фракций золококсовых частиц в кипящем слое ведет к возрастанию зольности золошлаковых отходов, а значит, к повышению КПД устройства, экономичности и надежности работы при сжигании высокозольных топлив. Предлагаемое устройство для сжигания твердого топлива в кипящем слое содержит топку кипящего слоя первой ступени, снабженную газораспределительной решеткой, системой подачи первичного и вторичного воздуха, подключенную на выходе последовательно к уловителям крупнофракционного уноса и летучей золы, при этом в уловителях установлены топки кипящего слоя второй ступени (для крупнофракционного уноса) и третьей ступени (для летучей золы), снабженных газораспределительными решетками и системами подачи первичного и вторичного воздуха и отвода золы. Как вариант исполнения, при реконструкции существующих котельных установок, а именно дооборудовании их предтопками кипящего слоя, в качестве места расположения кипящего слоя третьей ступени возможно использование топки реконструируемого котла [5].

Для реконструкции установленных и создания новых котлов ФКС (форсированный кипящий слой), универсальных по кругу применяемых топлив, имеющих повышенные экономические и экологические характеристики, а также глубокое и эффективное регулирование температуры перегрева пара, применяют инновационные подходы. По техническому решению предлагается топочный объем выполнить с расширением преимущественно вдоль продольной оси симметрии котла за счет расположенного внизу наклонного участка экрана и установить в нем на разной высоте расположенные на противоположных экранах по меньшей мере две группы сопел вторичного дутья, выполненных с возможностью отклонения струй в вертикальной плоскости, причем нижние сопла вторичного

дутья предлагается направить на наклонный участок экрана. Предлагаемое последовательное соединение реактора ФКС, топочного объема и конвективного газохода при выполнении топочного объема с расширением преимущественно вдоль продольной оси симметрии котла согласуется с типовыми П-образной, Т-образной их компоновками [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузырёв, Е. М. Численное моделирование процессов в топке котла при переводе на непроектное топливо / Е. М. Пузырёв, В. А. Голубев, И .В. Платов // Материалы V Международной научно-технической конференции «Использование твердых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла». – 2020. – С. 31–33.
2. Пат. 2300051. Рос. Федерация: МПК F23C10. Топка кипящего слоя для сжигания твердых дробленых топлив и горючих отходов; опубл. 22.03.2013.
3. Пат. 2170879. Рос. Федерация: МПК F23C10/20. Топка кипящего слоя; опубл. 20.07.2001.
4. Пат. 2632637. Рос. Федерация: МПК F23G5/30, F23C10/18. Топка с реактором форсированного кипящего слоя; опубл. 12.10.2017.
5. Пат. 2667725. Рос. Федерация: МПК F23C6/042, F23C6/04, F23C10/00, F23C10/00. Устройство для сжигания в кипящем слое высокосольного топлива; опубл. 03.10.2018.
6. Пат. 2698173. Рос. Федерация: МПК F23C10/18, F23C10/00. Котел форсированного кипящего слоя; опубл. 22.08.2019.

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков
Научный руководитель Ю. В. Гусева

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОГИДРОТУРБИНЫ УЭЛЬСА

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

Выполнена разработка методики расчета параметров и рабочих характеристик физической модели микрогидротурбины Уэльса. Проведены натурные испытания физической модели микрогидротурбины. Выполнена серия численных экспериментов для верификации предложенной расчетной методики.

Повышение экономической эффективности эксплуатации является актуальным направлением обеспечения функционирования ГЭС, в том числе на основе разработки и обоснования оптимальных конструктивных параметров перспективных гидравлических агрегатов и турбин микро- (до 100 кВт) и малой мощности [1–3].

Целью настоящей работы являются разработка методики расчетного исследования микрогидротурбины Уэльса и проведение испытаний на физической модели.

В связи с поставленной целью выделяются основные задачи исследования:

- разработка методики расчета параметров и рабочих характеристик микротурбины для выработки электрической энергии;
- проведение испытаний физической модели для обоснования выбора оптимальных параметров и конструктивных размеров микротурбины.

Методика расчетного исследования, предложенная авторами, основана на базовых законах сохранения энергии, массы и импульса тела. В работе получена зависимость электрической мощности, вырабатываемой с использованием турбины Уэlsa, от параметров волны и геометрических размеров установки.

В основе расчета мощности сделано допущение, что выработка энергии осуществляется только при подъеме волны, определяемым временем полупериода [2]. Таким образом, объемный расход среды через осциллирующий столб выражается зависимостью:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

здесь V – объем осциллирующего столба, t – время полупериода.

Объем осциллирующего столба определяется его конструктивными параметрами, это можно выразить уравнением

$$V = S \cdot h. \quad (2)$$

После преобразований с учетом площади поперечного сечения осциллирующего столба S получим

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h, \quad (3)$$

тогда объемный расход среды через осциллирующий столб будет равен

$$Q = \frac{\pi D^2 h}{4T}. \quad (4)$$

Исходя из выражений (1) и (4) скорость воздуха в осциллирующем столбе $v_{\text{возд}}$ будет определяться по формуле

$$v_{\text{возд}} = \frac{h}{T}. \quad (5)$$

Применяя уравнение неразрывности, при условиях того что в канале не происходит накопления среды и стенки осциллирующего столба не имеют пор, получим выражение для определения скорости воздуха, набегающего на лопасти микротурбины v , которое имеет вид:

$$v = \frac{D^2 h}{Td^2}. \quad (6)$$

С учетом того что мощность представляет собой отношение работы, совершенной в единицу времени, запишем данное выражение, используя в качестве работы произведение средней силы, действующей на лопатку микротурбины, и скорости набегающего потока воздуха в виде

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F_{\text{ср}} \cdot v}{t}. \quad (7)$$

Далее произведем замену средней силы, действующей на лопатку, через произведение массы и ускорения, в данном случае ускорение запишем через отношение скорости ко времени. В свою очередь, массу воздуха представим через произведение объема воздуха и его плотности. Таким образом, получим

$$P = \frac{Q t \rho v^2}{2t} = \frac{v^3 \rho R a}{2}, \quad (8)$$

здесь $1/2$ – коэффициент, учитывающий среднюю силу набегающего потока, так как лопатка имеет одностороннее крепление.

Уравнение электрической мощности P (Вт), вырабатываемой с использованием турбины Уэльса, от параметров волны и геометрических размеров установки с учетом уравнений (6) и (8), а также КПД мультипликатора η запишем в виде зависимости

$$P = \frac{D^6 h^3 R a \rho}{T^3 d^6} \eta, \quad (9)$$

здесь D – диаметр осциллирующего водяного столба, м; h – амплитуда колебания, м; d – диаметр входного отверстия в турбину, м; T – период колебаний волны, с; R – радиус колеса турбины, м; a – ширина лопатки турбины, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³; η – КПД мультипликатора.

На основе проведенных исследований разработана методика расчета параметров и рабочих характеристик микротурбины Уэльса для выработки электрической энергии. Выполнена серия численных экспериментов и проведены натурные испытания разработанной физической модели микрогидротурбины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брызгалов, В. И., Гордон, Л. А. Гидроэлектростанции: учебное пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.
2. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов. – М.: Издательский дом «Альянс», 2010. – 423 с.: ил.
3. Тетельмин, В. В., Язев, В. А. Физические основы традиционной альтернативной энергетики: учебное пособие / В. В. Тетельмин, В. А. Язев. – Долгопрудный: Интеллект, 2016. – 176 с.

Н. А. Носачев
Научный руководитель Л. Р. Куш

ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АЛГОРИТМАХ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ

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

В силу ограниченных каналов связи частота передачи данных составляет 4–6 точек за одну минуту, что достаточно для АСУ ТП, но телемеханика и АСУ ТП не предназначены решать такие задачи, как оценка запасов устойчивости, моделирование работы оборудования энергосистемы, мониторинг низкочастотных колебаний и другие задачи, которые до определенного времени больше носили исследовательский характер. В связи с развитием каналов и увеличением их пропускной способности стала возможной реализация систем, использующих большой темп передачи данных, таких как система мониторинга переходных режимов (СМНР). СМНР использует технологию синхронизированных векторных измерений.

Использование технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ) позволяет создать системы управления, мониторинга, защиты и автоматики нового поколения, позволяющие повысить эффективность и надежность функционирования энергосистем.

В последнее время, наряду с первоначальной областью применения технологии СВИ, связанной с системами мониторинга переходных режимов, все больше внимания уделяется расширению сферы применения указанной технологии, в том числе для выявления опасных и аномальных режимов работы энергосистем, мониторинга состояния электрооборудования, для автоматизации распределительных сетей. Так, применение интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) с поддержкой технологии векторных измерений позволяет значительно улучшить оценку состояния энергосистем.

Важнейшим преимуществом использования синхровекторных измерений при создании систем противоаварийной автоматики связано с высоким качеством измерений параметров режима сети на базе синхровекторов тока и синхровекторов напряжения при электромеханических переходных процессах, что особенно важно при реализации автоматической частотной разгрузки, частотной делительной автоматики, автоматики ликвидации асинхронного режима и ряда других систем автоматики. Следует отметить, что несколько российских производителей в настоящее время ведут разработку систем противоаварийной автоматики на базе использования синхронизированных векторных измерений.

СВИ позволяют решать множество различных важных задач с очень высокой экономической эффективностью из-за использования одних и тех же исходных данных.

Одним из представителей компаний, поставляющим устройства для систем мониторинга переходных процессов, является ООО «Инженерный центр „Энергосервис“».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мокеев, А. В. Применение технологии синхронизированных векторных измерений для выполнения функций управления, защиты и автоматики / А. В. Мокеев // Научно-практическая конференция «Релейная защита и автоматизация энергосистем. Совершенствование эксплуатации и перспективы развития», Москва, 6 декабря 2017 г.

2. Шестаков, Н. С. Мониторинг низкочастотных колебаний в ЕЭС России по данным СМНР / Н. С. Шестаков, А. В. Жуков, Е. И. Сацук, Д. М. Дубинин, О. Л. Опалев // Международная научно-техническая конференция СИГРЭ «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Сочи, 2015 г.

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков
Научный руководитель Ю. В. Гусева

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОГИДРОТУРБИНЫ УЭЛЬСА

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

Проведена верификация расчетных параметров физической модели микрогидротурбины Уэльса. Выполнен анализ полученных результатов по выработке электрической энергии. Даны практические рекомендации по применению полученных результатов исследования.

В 2020 году оценочно 18 % от общего количества всей выработанной электрической энергии в России было произведено с помощью альтернативных и возобновляемых источников энергии, при этом доля электрической энергии, приходящаяся на гидравлические электрические станции (ГЭС), равна 17,6 %. Отметим важную роль гидравлических электростанций различной мощности в покрытии нагрузок электроэнергетической системы [1–4]. Целью настоящей работы являются исследование, расчет и анализ гидродинамических и конструктивных характеристик гидравлической микротурбины Уэльса на различных режимах работы для определения оптимальных параметров выработки электрической энергии.

В связи с поставленной целью выделяются основные задачи исследования:

- исследование состояния параметров и рабочих характеристик микротурбин для выработки электрической энергии;
- выполнение гидродинамических и конструктивных расчетов для различных режимов работы и создание модели микрогидротурбины;

– проведение испытаний физической модели, разработка практических рекомендаций для обоснования выбора оптимальных параметров и конструктивных размеров микротурбины Уэльса.

Анализ расчетных данных, приведенных на рис. 1, показал, что повышение высоты набегающей волны приводит к увеличению выработки электрической энергии гидротурбиной практически во всех рассмотренных случаях.

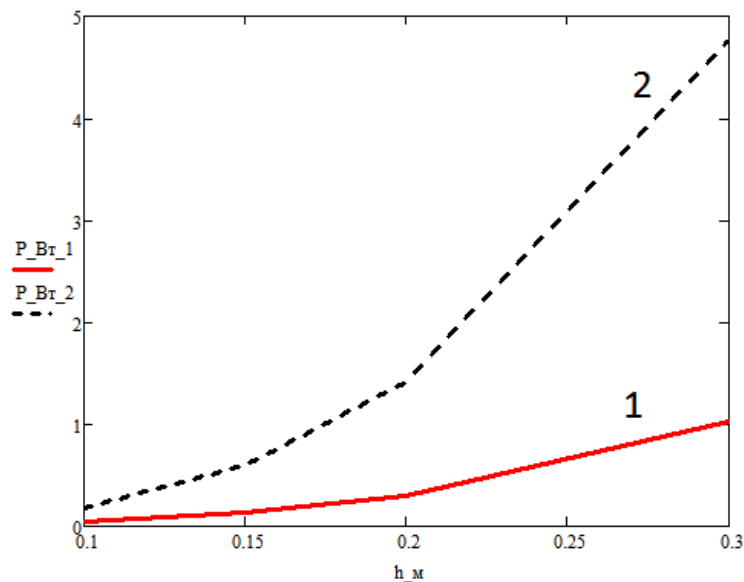


Рис. 1. Зависимость мощности, вырабатываемой гидротурбиной, от изменения значения амплитуды набегающей волны:
 1 – при $R = 0,02$ м, $D = 0,11$ м, $d = 0,01$ м, $a = 0,02$ м, $T = 2,5$ с;
 2 – при $R = 0,02$ м, $D = 0,11$ м, $d = 0,01$ м, $a = 0,02$ м, $T = 1,5$ с

Отметим, что для начала процесса выработки электроэнергии минимальное значение амплитуды (высоты волны) при заданных конструктивных параметрах модельной установки микрогидротурбины должно составлять не менее 7,5 см. При этом максимальная вырабатываемая электрическая мощность модельной установки наблюдается при соотношении конструктивных параметров $d/R = 6$ и $h = 0,2$ м, периоде колебаний волны 1,5 с, и равна 2,4 Вт, минимальная вырабатываемая электрическая мощность для этих значений отношения конструктивных параметров характеризуется уровнем, оценочно равным 0,3 Вт, при $h = 0,1$ м. При таких же условиях воздействия волны для $d/R = 3$ и $d/R = 4$, электрическая мощность равна 40 и 120 мВт соответственно. Приведенные расчетные результаты показывают, что гидротурбина Уэльса в рассмотренных условиях при $h = 0,1$ м позволяет осуществлять выработку электрической мощности в диапазоне от 0,3 до 0,5 Вт. Для наиболее оптимальных вариантов конструктивных соотношений $d/R = 3$ и $d/R = 4$ при $h = 0,15$ м вырабатываемая электрическая мощность микрогидротурбины составляет от 1 до 1,5 Вт, а часовая выработка электрической энергии при этом составляет порядка 3,6–5,4 кВт·ч. Полученные результаты и практические подходы могут быть использованы при разра-

ботке технических решений, направленных на создание маломощных источников энергоснабжения потребителей.

В ходе расчетов было установлено, что для начала процесса выработки электроэнергии минимальное значение амплитуды (высоты волны) при заданных конструктивных параметрах микрогидротурбины должно составлять не менее 0,075 м. Максимальная электрическая мощность наблюдается при $h = 0,3$ м, равная 2 Вт, а часовая выработка электрической энергии при этом составляет порядка 7 кВт·ч, что показано на рис. 2.

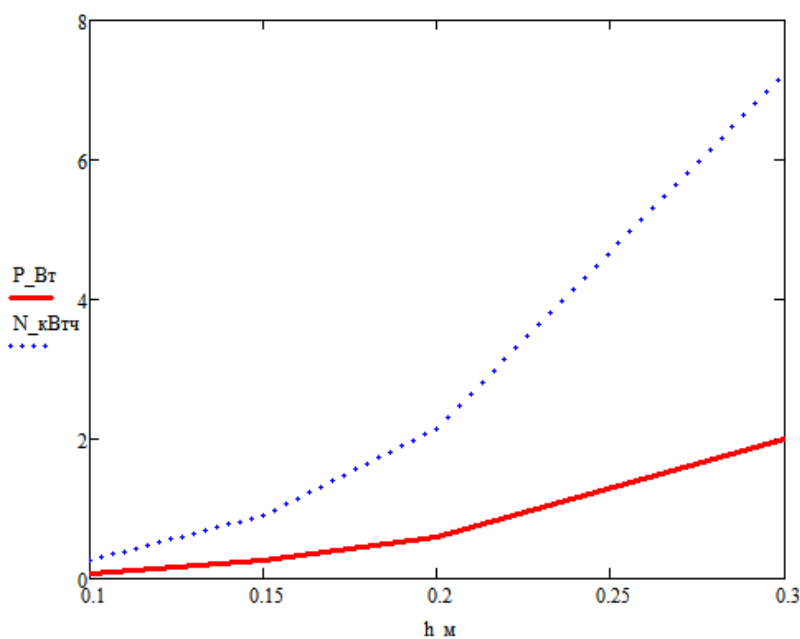


Рис. 2. Зависимость мощности и выработки электрической энергии от амплитуды волны по данным модельной установки

Проведенные натурные испытания предлагаемой модели показали, что микрогидротурбина Уэльса при $h = 0,1$ м позволяет осуществлять выработку электрической мощности в диапазоне от 0,3 до 0,5 Вт. Для наиболее оптимальных вариантов конструктивных соотношений $d/R = 3$ и $d/R = 4$ при $h = 0,15$ м вырабатываемая электрическая мощность гидротурбины составляет от 1 до 1,5 Вт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брызгалов, В. И., Гордон, Л. А. Гидроэлектростанции: учебное пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.
2. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов. – М.: Издательский дом «Альянс», 2010. – 423 с.: ил.
3. Тетельмин, В. В., Язев, В. А. Физические основы традиционной альтернативной энергетики: учебное пособие / В. В. Тетельмин, В. А. Язев. – Долгопрудный: Интеллект, 2016. – 176 с.
4. <http://zeleneet.com/novaya-volnovaya-elektrostantsiya-chast-2/7486/>

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков
Научный руководитель Ю. В. Гусева

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

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

Выполнен анализ технологий и нормативно-правовой документации в рамках внедрения новых принципов государственной политики в области охраны окружающей среды. Показано, что в настоящее время в рамках действующего природоохранного законодательства разработаны различные способы снижения выбросов парниковых газов при сжигании топлива на теплоэнергетических предприятиях.

Изменение климата, обусловленное выбросами парниковых газов, становится все более острой глобальной проблемой. Ожидается, что к концу столетия концентрация углекислого газа может увеличиться примерно в два раза. Конкурентоспособной альтернативы традиционным технологиям сжигания углеводородов до сих пор не существует.

В настоящее время достижения науки и техники в области снижения негативного влияния на окружающую среду предполагают несколько технологий по сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу. В значительной мере это способы термохимического воздействия, применения элементов нанотрубок для захвата органических молекул CO_2 , при этом используется полимер на основе металла, который образует прочный каркас, способный эффективно захватывать диоксид углерода, а также методы захоронения CO_2 с последующим его преобразованием в твердое вещество.

Данный процесс предполагает использование сепарации газов, в основном за счет изменения уровня давления в скважине или нагнетательном аппарате. Отметим, что технологии улавливания и захоронения углерода признаны критически важными для сдерживания роста температуры на планете в пределах $1,5\text{--}2\text{ }^\circ\text{C}$ к 2050 году, несмотря на высокие капитальные вложения в их практическое внедрения на производстве. Применение этих технологий существенно снизит объем выбросов «грязных» предприятий [1 – 3].

В свою очередь, каталитические процессы очистки газов от парниковых газов являются достаточно эффективными, при этом финансовые вложения в данную технологию предполагают сроки окупаемости, характеризующие среднесрочную перспективу реализации таких инновационных проектов защиты окружающей среды от негативного воздействия вредных выбросов. Особенность данного метода состоит в том, что очищаются большие объемы отходящих газов с малым содержанием примесей. Объем гидрокарбоната и карбоната натрия, образующихся при взаимодействии CO_2 с раствором гидроксида

натрия, определяли путем потенциометрического титрования раствором HCl на приборе «Эксперт 001-3» с помощью рабочего рН-электрода [2, 3]. На рисунке представлены основные мероприятия по ограничению выбросов химических примесей, в том числе CO₂, в атмосферу в результате использования органического топлива.

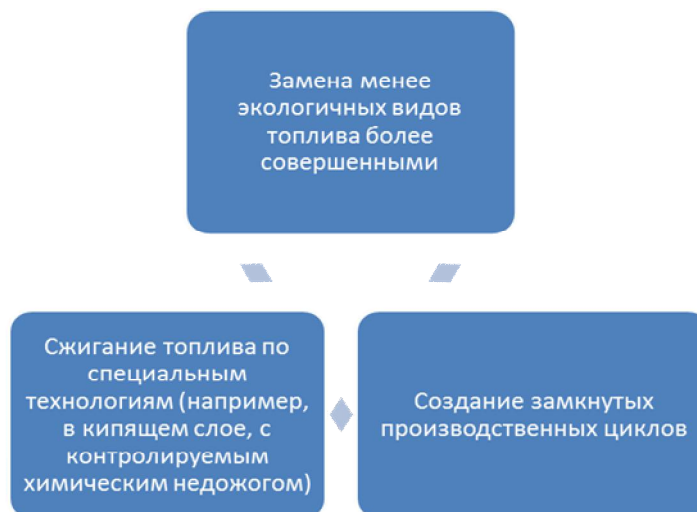


Рисунок. Основные мероприятия по ограничению выбросов химических примесей в атмосферу

На основе проведенных аналитических исследований показано, что в настоящее время отсутствуют малозатратные решения, направленные на снижение выбросов парниковых газов в окружающую среду от теплоэнергетических предприятий. В этой связи значительно усложняется реализации требований природоохранного законодательства в соответствии с Федеральным законом РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов, Г. А. Сепарация CO₂ с использованием химических циклов сжигания и газификации топлив / Г. А. Рябов, О. М. Фоломеев, Д. С. Литун, Д. А. Санкин // Теплоэнергетика. – 2009. – № 6. – С. 39–49.
2. ИТС 38-2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. – Введ. 2018-07-01. – М.: Росстандарт, 2017.
3. Росляков, П. В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П. В. Росляков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с.: ил.
4. Федеральный закон РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/) (дата обращения: 23.09.2021).

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков
Научный руководитель Ю. В. Гусева

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ НА ОСНОВЕ РОТОРА САВОНИУСА

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

Выполнены расчетные исследования по оценке эффективности выработки электрической энергии ветрогенератором на основе ротора Савониуса. Рассмотрены энергетические характеристики ротора Савониуса, характеризующие эффективность применения ветровых энергоустановок для выработки электрической энергии с учетом геометрии и ориентации посадки лопастей ветроколеса.

Ветроэнергетика в настоящее время является одним из важных направлений развития отечественной электроэнергетики и современных подходов повышения эффективности использования органического топлива вследствие его замещения альтернативными источниками энергии. Данное направление характеризуется отсутствием выбросов вредных веществ в атмосферу, короткими сроками возведения и легкостью обслуживания ветроустановок, что также является дополнительными весомыми преимуществами по сравнению с традиционными технологиями получения электроэнергии. Положительно необходимо отметить снижение стоимости электроэнергии при децентрализованном обеспечении электроэнергией удаленных потребителей [1, 2].

Следует отметить, что ветроэнергетические установки (ВЭУ) с горизонтальным расположением ротора составляют более 96 % отечественного ветропарка. Вертикально-осевые ветрогенераторы используются в маломощных ветропарках и установках.

Савониус разработал ротор с S-образным профилем лопастей. Необходимо отметить, что данная конструкция ветроэнергетической установки обладает недостатками, связанными с низким значением коэффициента использования энергии ветра $C_p = 0,15$, в отдельных случаях, при оптимальном расположении нескольких роторов Савониуса на одном валу, C_p можно увеличить до 35 %, что в значительной степени повышает возможность его широкого промышленного распространения с целью выработки электрической энергии [2].

Величина коэффициента C_p определяется как отношение коэффициента мощности и предела Бетца или теории Жуковского (теория идеального ветряка), в которой $C_p = 0,593$ является максимальной энергетической эффективностью ветряной турбины. В диапазоне скоростей воздушных масс 3–11 м/с коэффициент использования мощности ветра составляет приблизительно 0,3. Высокие скорости ветра приводят к более значительному уменьшению эффективности работы ветроустановки.

На рисунке представлены графики зависимости C_p от значения быстроходности Z ротора ВЭУ. В данном случае для ротора Савониуса C_p находится на уровне 0,18–0,24.

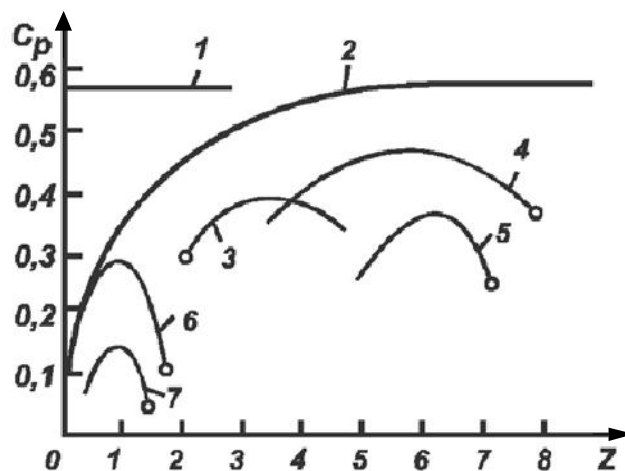


Рисунок. Зависимость коэффициента C_p от величины быстроходности [3]:
 1 – критерий Бетца; 2 – критерий Глауэрта; 3 – трехлопастной ветряк с горизонтальной осью; 4 – двухлопастное ветроколесо; 5 – ротор Дарье; 6 – многолопастное ветроколесо с горизонтальной осью; 7 – ротор Савониуса

В ходе проведенных исследований и анализа конструктивных особенностей роторов различных видов установлено, что эффективность ветроустановки зависит от геометрии и ориентации посадки, количества лопастей на ветроколесе и ярсности ротора [4].

Отмечено, что ВЭУ с горизонтальным расположением ротора характеризуются значениями $C_p = 0,48$. При этом в ходе экспериментальных работ установлено, что инновационные модификации ветроустановки Савониуса могут повысить коэффициент использования до значений 0,4–0,45 [5, 6].

На основе этих результатов можно сделать вывод, что эти показатели C_p для ВЭУ с горизонтальным и вертикальным расположением роторов могут принимать близкие значения эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубенчиков, А. А. Разработка алгоритма расчета аэродинамических сил, действующих на криволинейный контур на режиме отрывного обтекания с целью выбора конструкции ротора Савониуса / А. А. Бубенчиков, Е. В. Помогалова, В. А. Жданова, Г. А. Ковалев // Молодой ученый. – 2016. – № 22-3 (126). – С. 14–18.
2. Templin, R. J. Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine / R. J. Templin // National Research Council of Canada. Rep. LTR 160. – 1974. – P. 185.
3. Янсон, Р. А. Ветроустановки / Р. А. Янсон. – М.: 2007. – 36 с: ил.
4. Tian, W. Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes / W. Tian, B. Song, J. H. Van Zwieten, P. Pyakurel // Energies. – 2015. – V. 8. – № 8. – P. 7915–7929.

5. Лагода, Ф. И. Методика (математическая модель) расчета энергетических характеристик ротора Савониуса / Ф. И. Лагода, С. В. Суков, Т. В. Бубенчикова // Молодой ученый. 2016. – № 22-3 (126). – С. 34–40.

6. Шишкин, Н. Д., Терентьев, И. С. Оценка основных параметров комбинированных вертикально-осевых ветроэнергоустановок для судов и нефтедобывающих платформ / Н. Д. Шишкин, И. С. Терентьев // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2015. – № 2. – С. 56–63.

А. И. Недосеко

Научный руководитель А. В. Стрижиченко

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ СК-11

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

Рассмотрены методы расчета потерь при отсутствии и при наличии графиков нагрузки потребителей. Приведены результаты экспериментальных исследований, показавшие возможность применения специализированных программ для количественной оценки и локализации очагов потерь.

Электрическая энергия является единственным видом продукции, для перемещения которого от мест производства до мест потребления не используются другие ресурсы. Для этого расходуется часть самой передаваемой электроэнергии, поэтому ее потери неизбежны, и задача состоит в снижении их до экономически обоснованного уровня, что является одним из важнейших направлений реализации программы энергоэффективности.

Цель работы – рассмотрение метода расчета потерь в электрических сетях и приведение испытаний визуализированных моделей.

Сложность анализа потерь состоит в недостатке исходных данных для проведения точных расчетов. При анализе потерь с помощью программного комплекса *ELA (Energy Loss Analysis – анализ потерь электроэнергии)* предлагается проводить расчеты не сразу для всей сети целиком, а предварительно провести выделение в сети областей, ограниченных приборами учета электроэнергии, имеющими показания за рассматриваемый период. Далее для каждой такой области расчеты будут проводиться отдельно, что делает их более громоздкими и трудоемкими.

Алгоритм расчета технологических потерь следующий: если графики нагрузки потребителей отсутствуют и не планируется их вводить, то расчет технологических потерь электроэнергии происходит по методу средних нагрузок, суть которого в расчете переменных потерь электроэнергии в элементах электрической сети на основе определенных потерь мощности, полученных по данным результатов расчета режимных параметров данной электрической сети. Погрешность расчета при этом наибольшая, но приемлемая.

При наличии графиков нагрузки потребителей выполняется расчет технологических потерь электроэнергии по графикам нагрузки согласно методу суточных режимов (определение потерь по графикам нагрузки). Данный метод точнее, чем метод средних нагрузок, причем чем точнее введены графики, тем меньше погрешность расчета. Методы задания графиков:

- автоматическое задание графиков нагрузки (автоматическое задание типовых графиков нагрузки);
- ручное задание типовых графиков, либо ручное задание графиков, реально снятых у потребителя.

При установке в каждой расчетной точке системы АСКУЭ *ELA* использует ее данные, точность расчетов в этом случае наиболее высока. Метод средних нагрузок применяется для расчета потерь при отсутствии графиков нагрузки, из-за этого данный метод характеризуется большей погрешностью расчетов.

Для области вычисляются средние активные мощности нагрузок $P_{\text{ср}}$ по реальным данным измерительных приборов. Для нагрузок также необходимо задать и реактивные мощности потребления. Реальных данных по реактивным мощностям нет, поэтому на начальных этапах анализа можно задавать типовой $\cos(\varphi)$. Также задается напряжение в узле, через который втекает мощность в область. Напряжение можно задавать номинальным, так как на изменения напряжения распространяются нормы ГОСТ 32144-2013, нормирующего качество электроэнергии. По средним нагрузкам выполняется расчет режима. В результате расчета будут определены перетоки мощности по элементам сети – $\Delta P_{\text{ср}}$.

Для определения реальных потерь нужны среднеквадратичные потери мощности [1]:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{ср.кв.}} \cdot T. \quad (1)$$

Среднеквадратичное значение потерь мощности можно выразить через среднее значение потерь мощности и коэффициент формы графика нагрузки [1]:

$$K_{\varphi} = \frac{P_{\text{ср.кв.}}}{P_{\text{ср.}}} \Rightarrow P_{\text{ср.кв.}} = P_{\text{ср.}} \cdot K_{\varphi}, \quad (2)$$

$$\Delta P_{\text{ср.кв.}} = P_{\text{ср.кв.1}} - P_{\text{ср.кв.2}} = P_{\text{ср.1}} \cdot K_{\varphi} - P_{\text{ср.2}} \cdot K_{\varphi} = \Delta P_{\text{ср.}} \cdot K_{\varphi}. \quad (3)$$

Получаем потери электроэнергии [1]:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{ср.}} \cdot T \cdot K_{\varphi}^2. \quad (4)$$

Для определения коэффициента формы необходим график нагрузки либо $P_{\text{ср.}}$ и $P_{\text{ср.кв.}}$.

ELA – приложение, функционирующее на платформе СК-11, позволяет выполнить расчет баланса электроэнергии, технических и коммерческих потерь электроэнергии в распределительной сети на основе данных от приборов учета с учетом информации об изменении топологии сети.

Инструмент позволяет выявить и локализовать области и элементы сети с повышенным уровнем потерь, определить факты некорректного учета электроэнергии или несанкционированного отбора мощности.

В таблице представлены технические потери в предварительно выделенных в сети областях, ограниченных приборами учета электроэнергии, имеющими показания за рассматриваемый период.

Технические потери электроэнергии

Область	Технические потери		
	Полные [кВт·ч]	Нагрузочные [кВт·ч]	XX [кВт·ч]
446 ЛР 10кВ ПС Южная	12 546	4 436	8 110
ПС 110 кВ Северная КЛ 10 кВ ПС 110 кВ Северная-РП 440	25 274	15 837	9 438
486 ЛР Северная	8 735	2 556	6 179
457 ЛР ПС Северная	4 578	1 645	2 932
ПС 110 кВ Южная В 110кВ Заря-1	47 550	4 101	43 449
ПС 110 кВ Северная ЛР 110кВ Сибирская	21 545	258	21 287

Технические потери оборудования области					Технические потери				
Оборудование	Тип	Уном [кВ]	Прин...		Полные [кВт·ч]	Нагр. [кВт·ч]	XX [кВт·ч]	% от втек. в о...	% по области
▶ ▲ ПС: Count=1		10	АО "...		12	12	0	Max=0,0	
КЛ 10 кВ РП 457 - ТП 4126...	КЛ	10	АО "...		12	12	0	0,0	0,3
▶ ▲ ПС: 4126 Count=11		0,4-10	АО "...		2 295	1 247	1 048	Max=1,5	
КЛ Т1	КЛ	10	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
Т1	Тр-р	10	АО "...		1 432	383	1 048	1,5	31,3
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 1) Р...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 4) У...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 7) Т...	КЛ	0,4	АО "...		253	253	0	0,8	5,5
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 8) Р...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 6) 8...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 3) Р...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 2) К...	КЛ	0,4	АО "...		305	305	0	0,9	6,7
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 2) К...	КЛ	0,4	АО "...		305	305	0	0,9	6,7
КЛ 0,4 ТП 4126 - (Руб. 5) 8...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
▶ ▲ ПС: 457 Count=9		0,4-10	АО "...		2 272	387	1 884	Max=3,8	
КЛ Т1	КЛ	10	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
Т1	Тр-р	10	АО "...		1 932	47	1 884	3,8	42,2
КЛ 0,4 РП 457 - (Руб. 3) ул...	КЛ	0,4	АО "...		208	208	0	0,8	4,5
КЛ 0,4 кВ РП 457 (руб. 4) -...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 кВ РП 457 (руб. 1) -...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 РП 457 - (Руб. Руб.)...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 РП 457 - (Руб. 5) Р...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
КЛ 0,4 РП 457 - (Руб. 11) у...	КЛ	0,4	АО "...		132	132	0	0,6	2,9
КЛ 0,4 РП 457 - (Руб. 2) ул...	КЛ	0,4	АО "...		0	0	0	0,0	0,0
Count=21		0,4-10	АО "...		Sum=4 578	Sum=1 645	Sum=2 932	Max=3,8	

Рис. 1. Технические потери оборудования

Основные технические потери приходится на трансформаторы подстанций 4126 и 457 (рис. 1). Далее выполним анализ потерь на графических схемах (рис. 2).

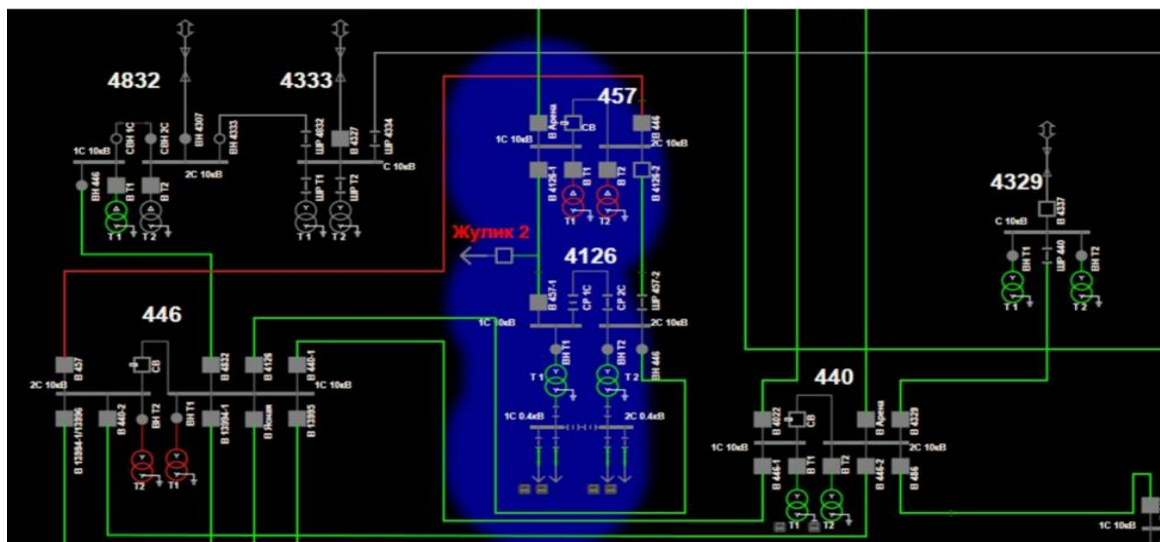


Рис. 2. Графическая схема для наглядного выявления повышенных потерь

Внедрение современного программного комплекса СК-11 для расчета технологических потерь мощности и электроэнергии позволит:

- рассчитать баланс электроэнергии и количественно оценить потери, выявить и локализовать их очаги;
- произвести замену и/или модернизацию устаревших видов электрооборудования;
- выявить и устранить несоответствие используемого электрооборудования существующим нагрузкам;
- выявить и снизить коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний приборов учета оплате за электроэнергию бытовыми потребителями и др. в сфере организации контроля за потреблением электроэнергии.

Рассматривая существующий успешный опыт использования программных комплексов для расчета потерь мощности и электроэнергии в электросетевых компаниях, можно привести в пример использование программы *Energy Loss Analysis*, работающей на платформе СК-11, в ПАО «Россети».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://pandia.ru/text/78/372/1089.php>
2. Синенко, Л. С. Электроснабжение. Версия 1.0: учебное пособие к практ. занятиям [Электронный ресурс] / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.

А. С. Кузнецов, О. В. Михайлова

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

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

Разработан программный комплекс для анализа температурных полей путем реализации алгоритма расчета на ЭВМ. Приведены результаты расчетов, полученные с помощью моделирования трех основных методов, имеющих примерно одинаковую достигнутую точность, но различную скорость расчета.

Создание сложных технических объектов, ядерных реакторов и их оборудования (парогенераторов, турбин и др.), а также разработка новых конструкций требует детального исследования комплекса процессов: нейтронно-физических, тепловых, гидравлических, массопереноса в контурах. Особенно важно знание динамического поведения локальных характеристик теплофизических процессов в аварийных ситуациях.

В настоящее время информационные технологии являются удобным инструментом, который многие энергетические компании смогут использовать в своей деятельности для повышения эффективности. Они актуальны в связи с простотой освоения и использования относительно существующих программ.

Важным преимуществом численного решения является его низкая стоимость. В большинстве случаев стоимость машинного времени, затраченного на решение задачи, на много порядков меньше стоимости соответствующего экспериментального исследования.

Расчет температурных полей – составная часть проектировочных и поверочных расчетов. Данные о температурных полях позволяют обоснованно выбрать теплозащиту и конструкционные материалы. Характер и количественные характеристики теплового поля описываются связанной системой уравнений теплопроводности в элементах конструкции с условиями теплового взаимодействия их между собой и с внешней средой, уравнений радиационного теплообмена и уравнений свободно конвективного нагревания сред (топлива) во внутренних полостях [1].

Для выполнения расчетов удобно использовать компьютерные модели для получения полной и точной информации о тепловом режиме всех элементов и узлов. Вычислительный алгоритм, интерфейс и программные средства ввода-вывода в разработанных компьютерных моделях могут быть универсальными для задач такого типа.

Основная задача моделирования различного рода процессов и систем с целью исследования объектов, прогнозирования их поведения или поиска наилучших условий функционирования сводится к расчету анализируемых показателей по математической модели при тех или иных значениях (или функциях) входных величин.

При конечно-разностной аппроксимации получается большое количество линейных алгебраических выражений, приводящихся к виду

$$t_{k,j} = At_{k-1,j} + Bt_{k+1,j} + Ct_{k,j+1} + Dt_{k,j-1}. \quad (1)$$

Для решения такой системы уравнений можно было бы воспользоваться стандартными методами обращения матрицы. Однако такой алгоритм очень сложен и требует большой машинной памяти и затрат вычислительного времени [3]. Среди большого количества существующих методов наиболее удобными для реализации на ЭВМ являются метод одновременных, последовательных смещений и метод релаксации.

В методе одновременных смещений используются два массива: один – для хранения предыдущего приближения к решению, другой – для новых значений. От узла к узлу с помощью вычислительного шаблонного уравнения (1) производится расчет новых значений переменных по старым значениям, пока не будут получены новые значения во всех узлах. Затем производится одновременная замена значений переменных во всех узлах сетки, причем выполняется копирование массива новых полученных значений в массив хранения предыдущего приближения.

Так как новые значения искомого решения вводятся одновременно во всех узлах сетки, порядок, в котором производятся вычисления, не имеет значения. Счет заканчивается, когда изменение значений переменных во всех узлах сетки становится меньше некоторой заранее заданной величины. Любой интегральный метод требует задания начального приближенного решения. Часто для получения приближенных значений переменных в узлах сетки пользуются линейной интерполяцией. Чем больше исходное приближение к решению, тем меньше интеграций необходимо для его получения.

Одна из причин, по которой метод одновременных смещений обладает такой медленной сходимостью, состоит в том, что уточненные значения переменных не используются, пока они не найдены для всех узлов сетки, то есть до тех пор, пока не заменена вся сетка значений.

В методе последовательных смещений (метод Гаусса – Зейделя) уточненные значения переменных используются сразу после получения. Так, уточненное значение переменной в узле сразу же используется для вычисления нового значения в следующем узле и т. д. При использовании этого метода ход решения задачи зависит от того, в каком порядке обходятся узлы сетки. Так как в методе последовательных смещений новые данные используются сразу после их получения, скорость распространения информации от узла к узлу получается выше; поэтому для этого метода характерна более быстрая сходимость, чем для метода одновременных смещений [2].

Такой процесс носит название итерационного, а каждый расчет значений – цикла итерации. Процесс итерации можно представить следующим образом: сетка систематически сканируется узел за узлом, а формула (1) используется для получения окончательных значений переменных в каждом узле. Процесс

повторяется до тех пор, пока разность значений переменных между двумя последовательными итерациями не станет меньше некоторой заданной наперед бесконечно малой величины.

Основу методов релаксации составляет последовательное уменьшение невязок во всех узлах сетки. Невязка – разность между значением переменной в узле и ее истинным значением. Изменение значения переменной в узле на большую величину необходимо для обращения данной невязки в нуль. В методе верхней релаксации (рис. 1) используется линейная экстраполяция по результатам двух последовательных смещений. С этой точки зрения метод верхней релаксации можно рассматривать как развитие метода последовательных смещений.

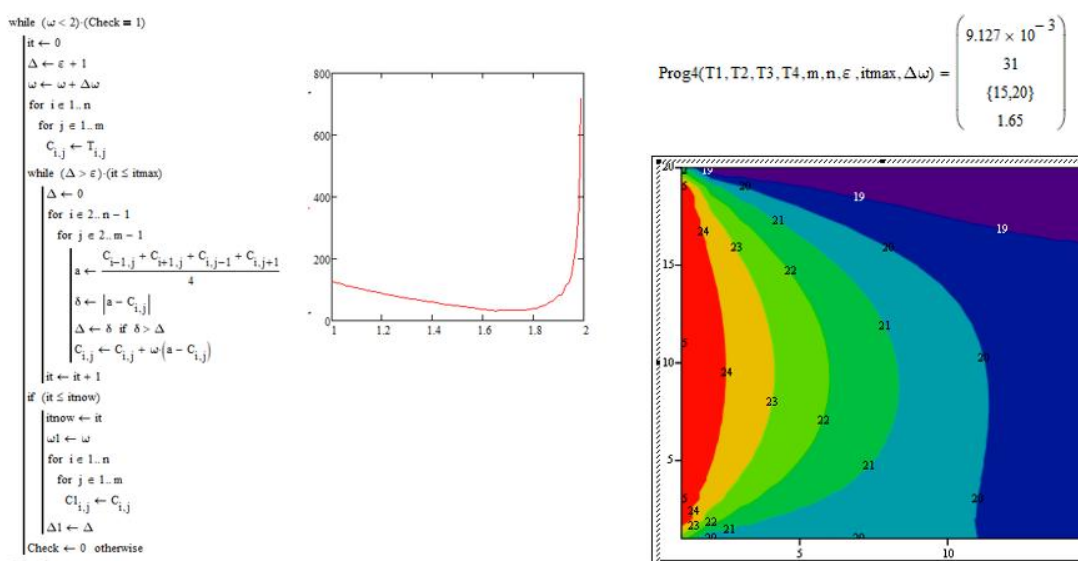


Рис. 1. Метод верхней релаксации

Все три метода являются удобными для расчетов, имеют примерно одинаковую достигнутую точность, но различаются по скорости расчета, что можно наблюдать в таблице.

Количество итераций и точность рассматриваемых методов

Параметр	Метод Гаусса – Зейделя	Метод Якоби	Метод верхней релаксации
Количество итераций	126	215	31
Достигнутая точность	$9,899 \cdot 10^{-3}$	$9,931 \cdot 10^{-3}$	$9,127 \cdot 10^{-3}$

При расчетах заданы граничные условия первого рода – температура на гранях изучаемого объекта не изменяется, расчет произведен только для металлического бруса с прямоугольным сечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грошев, А. И. Численные методы в теплофизических расчетах: учебное пособие / А. И. Грошев. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2009. – 108 с.

2. Кандалов, П. И., Мадера, А. Г. Температурные поля технических систем в условиях неопределенности: моделирование и анализ / П. И. Кандалов, А. Г. Мадера // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10 (часть 1) – С. 10–13.

3. Труфанова, Н. М. Навалихина, Е. Ю. Численное исследование температурного поля в кабельных линиях для анализа возможности уплотнения кабельного канала / Н. М. Труфанова, Е. Ю. Навалихина // Электротехника. – 2014. – № 11 – с. 11–13.

Д. С. Новикова

Научный руководитель М. В. Одоевцева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ПЕРМЕАТА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

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

Разработано математическое описание объекта управления. Определены и проанализированы параметры настройки регулятора.

Актуальность работы обусловлена необходимостью поддержания определенного уровня обессоленной воды в накопительном баке в режимах динамически меняющейся нагрузки котлоагрегата. Цель работы заключается в синтезе системы автоматического регулирования расхода пермеата.

В качестве объекта управления выступает установка обратного осмоса. Управляющим воздействием является расход исходной воды, регулируемой величиной – расход пермеата.

Для определения динамических свойств объекта управления необходимо располагать зависимостью изменения расхода пермеата (далее кривая разгона). На рис. 1 и рис. 2 приведена кривая разгона, полученная с установки обратного осмоса на АО «Волжский оргсинтез» и кривая разгона в относительных единицах соответственно.

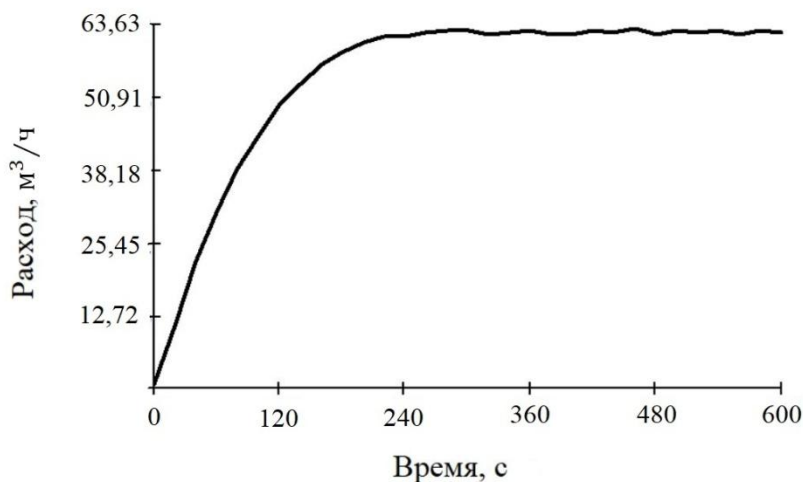


Рис. 1. Кривая разгона объекта управления по каналу «положение клапана – расход пермеата»

Для аппроксимации полученной кривой будем использовать апериодическое звено 3-го порядка, общий вид которого определяется выражением

$$W(k, T_1, T_2, T_3, s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1)}, \quad (1)$$

где k – коэффициент передачи; T_1, T_2, T_3 – постоянные времени.

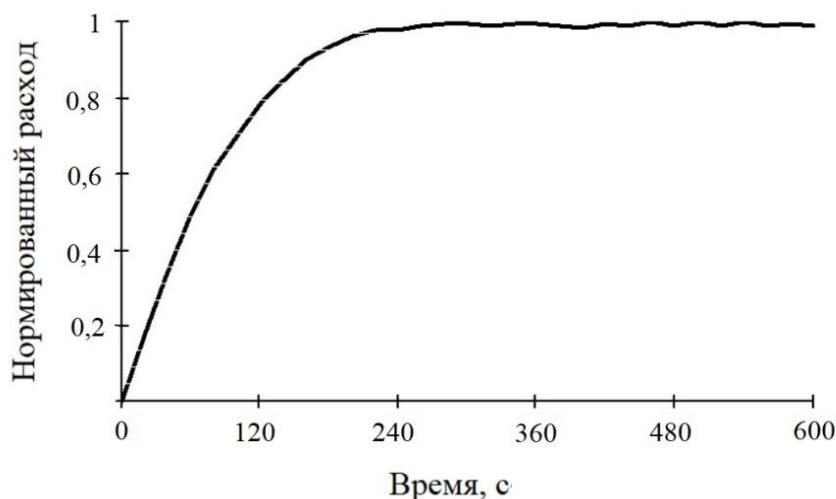


Рис. 2. Кривая разгона объекта управления по каналу «положение клапана – расход пермеата» в относительных единицах

Далее рассчитаем переходную характеристику $h(t)$, используя выражение (2). Для этого применим в Mathcad функцию `invlaplace`, выполняющую обратное преобразование Лапласа.

$$h(k, T_1, T_2, T_3, s) = \frac{W(k, T_1, T_2, T_3, s)}{s} \Big|_{\text{invlaplace, s}} \xrightarrow{\text{simplify}} \dots, \quad (2)$$

Теперь, имея аналитический вид переходной характеристики, формируем целевую функцию для поиска оптимума аппроксимирующей кривой. Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов. Общий вид целевой функции определяется выражением

$$\text{sum}(k, T_1, T_2, T_3, s) = \sum_{i=0}^{\text{rows}(q_{\text{отн}})-1} (q_{\text{отн}i} - h(k, T_1, T_2, T_3, \text{time}_i))^2, \quad (3)$$

где $\text{rows}(q_{\text{отн}})$ – количество элементов нормированного массива q .

Для поиска оптимального значения параметров k, T_1, T_2, T_3 целесообразно воспользоваться функцией `Minimize`, однако эта функция находит значение локальный минимум в некоторой окрестности заданных начальных приближений. Для глобального поиска начальных приближений, дающих минимум целевой

функции, воспользуемся программой, реализующей глобальный поиск начальных приближений:

```

OPTIM =
    min ← ∞
    for K ∈ 1,10...100
    for T1 ∈ 1,10...100
    for T2 ∈ 1,10...100
    for T3 ∈ 1,10...100
    if (T1 - T2) · (T1 - T3) · (T2 - T3) ≠ 0
    S ← sum (K, T1, T2, T3)
    if S < min
    min ← S
    A0 ← min
    A1 ← K
    A2 ← T1
    A3 ← T2
    A4 ← T3
    A
    
```

(4)

В результате произведенных расчетов получена передаточная функция объекта управления, представленная выражением

$$W_{oy}(s) = \frac{1,003}{(69,254 \cdot s + 1) \cdot (9,919 \cdot s + 1) \cdot (0,341 \cdot s + 1)}. \quad (5)$$

На рис. 3 представлены графики функции кривой разгона и полученной в результате аппроксимации кривой.

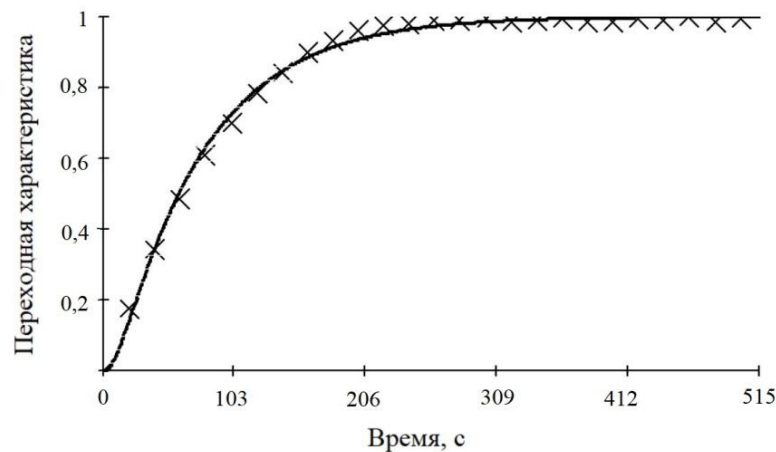


Рис. 3. Графики функции кривой разгона и аппроксимированной кривой

Синтез САР расхода пермеата будем осуществлять для одномерной схемы регулирования, приведенной на рис. 4.

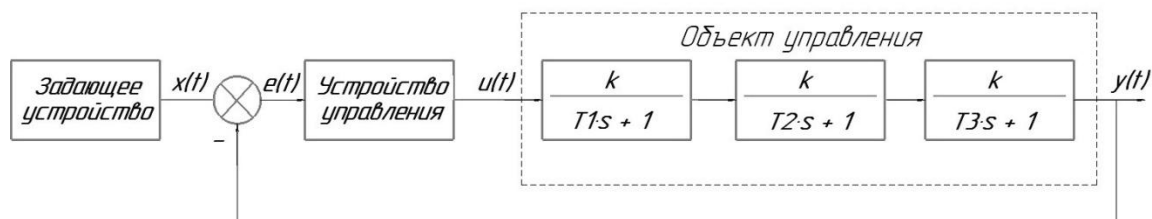


Рис. 4. Структурная схема САР расхода пермеата

Оценку качества переходных процессов будем осуществлять за счет использования корневых показателей качества переходных процессов: корневого запаса устойчивости η и корневого показателя колебательности m [1]. Эти величины определяются по характеру расположения корней характеристического уравнения передаточной функции замкнутой системы.

Для расчета виртуального ПИД-регулятора используем следующую стратегию определения оптимальных параметров настройки.

1. Определяется в общем виде зависимость значений корней характеристического уравнения от параметров настройки регулятора.

2. Записываются функции, выражающие корневые показатели качества переходного процесса через значения корней, а следовательно, и через параметры настройки.

3. Выбирается целевая функция и ограничения поиска оптимума, после чего производится оптимизация целевой функции за счет изменения параметров настройки регулирующего устройства [2].

Передаточная функция ПИД-регулятора в общем виде определяется выражением

$$W(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}, s) = k_{\text{пер}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot s} + T_{\text{д}} \cdot s \right), \quad (6)$$

где $k_{\text{пер}}$ – коэффициент передачи ПИД-регулятора; $T_{\text{и}}$ – постоянная интегрирования ПИД-регулятора; $T_{\text{д}}$ – постоянная дифференцирования ПИД-регулятора.

Тогда аналитический вид передаточной функции замкнутой системы в общем виде будет определяться следующим выражением:

$$W_{\text{сист}}(s) = \frac{W(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}, s) \cdot W_{\text{об}}(s)}{1 + W(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}, s) \cdot W_{\text{об}}(s)} \Bigg|_{\text{simplify}} \Bigg|_{\text{float,3}} \rightarrow \dots \quad (7)$$

Для дальнейшего расчета понадобятся значения коэффициентов полинома знаменателя. Для их определения применим в Mathcad функцию coeffs, представленную выражением (8) к результату, полученному из выражения (7).

$$\text{vcof}(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}) := Q(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}, s) \text{coeffs}, s \rightarrow \dots, \quad (8)$$

где $Q(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}, s)$ – знаменатель передаточной функции замкнутой системы.

Далее определим в общем виде зависимость значений корней характеристического уравнения от параметров настройки регулятора. Для численного поиска корней характеристического уравнения в Mathcad присутствует функция `polyroots`. В качестве аргументов функция принимает вектор коэффициентов характеристического уравнения

$$\text{vr}(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}) := \text{polyroots}(\text{vcof}(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}})) \quad (9)$$

Теперь, зная зависимость корней характеристического уравнения от параметров настройки регулятора (9), найдем общий вид корневого показателя устойчивости, используя выражение

$$\text{eta}(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}) := \max(\text{Re}(\text{vr}(k_{\text{пер}}, T_{\text{и}}, T_{\text{д}}))) \quad (10)$$

В качестве целевой функции принимаем сумму квадратов разностей переходной характеристики системы и переходной характеристики единичного ступенчатого воздействия на интервале времени, достаточном для прекращения переходного процесса.

Окончательно, в результате расчета получена следующая передаточная функция ПИД-регулятора, представленная выражением

$$W_{\text{пер}}(s) = 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{73,95 \cdot s} + 4,44 \cdot s \right). \quad (11)$$

На рис. 5 представлена графическая зависимость полученной переходной характеристики замкнутой системы.

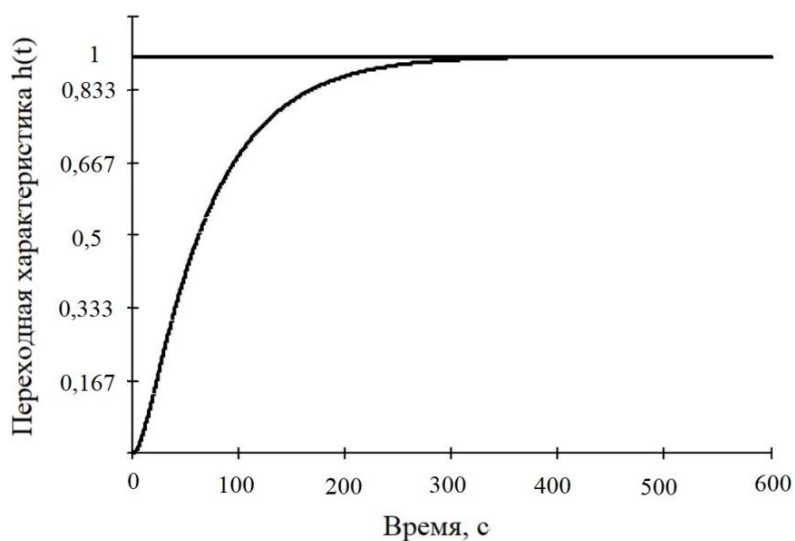


Рис. 5. Графическая зависимость переходной характеристики замкнутой системы от времени

Показатели качества переходного процесса, полученные в результате анализа графика функции, представленной на рис. 5: время достижения первого максимума составляет $T_{\text{макс}} \approx 400$ с; время регулирования $T_{\text{рег}} \approx 199$ с; перерегулирование δ отсутствует.

Таким образом, по полученным значениям достигается качественный переходный процесс при заданных параметрах регулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления технологическими процессами: учебник для вузов / В. Я. Ротач. – М.: Издательский дом МЭИ, 2004. – 400 с.
2. Шамигулов, П. В. Решение задач по теории автоматического управления с применением программы Mathcad: учебное пособие по дисциплине «Теория автоматического управления» / П. В. Шамигулов. – Волжский: Филиал «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008. – 40 с.

В. Ю. Шевцов, А. Р. Алеева, Н. С. Путимцев
Научный руководитель Ю. С. Бахрачева

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ФГАОУ «Волгоградский государственный университет»

Проведен анализ радиопоглощающих материалов на основе полимерной матрицы и ферромагнитного наполнителя, исследованы их частотные характеристики. Показана возможность применения таких композитных материалов для экранирования побочных электромагнитных излучений объектов электроэнергетики.

В последнее время уровень электромагнитного излучения возрос на несколько порядков. Высокочастотные электромагнитные поля могут возникать при коммутационных процессах в электрических сетях, на объектах электроэнергетики, в устройствах и бытовых приборах. Высокочастотные электромагнитные излучения представляют серьезную угрозу пользователям или операторам этих устройств, также они могут вызвать серьезные помехи на самих объектах электроэнергетики.

Таким образом, разработка радиопоглощающих материалов для защитного экранирования является весьма актуальной. В последнее время ведется достаточно много работ в этом направлении [1].

В данной работе проводится исследование способности материала эффективно поглощать электромагнитное излучение. В качестве объекта исследования были взяты различные полимерные композиции, которые были модифицированы электропроводящим наполнителем.

В работе проводился расчет частотных зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемостей радиопоглощающего материала, определялись коэффициенты отражения и прохождения в зависимости от процентного содержания наполнителя, размера наполнителя, толщины защитного слоя. Проведенные расчеты сравнивались с экспериментальными данными. Частотная зависимость коэффициента пропускания материала, состоящего из диэлектрической матрицы с 40 % ферромагнитных включений, представлена на рисунке.

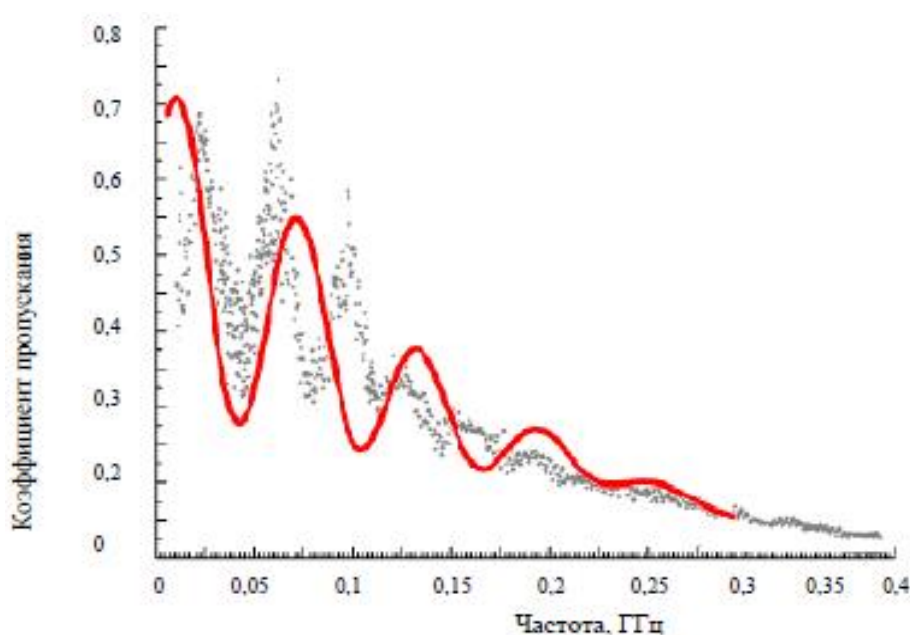


Рисунок. Частотная зависимость коэффициента пропускания материала, состоящего из диэлектрической матрицы с 40 % ферромагнитных включений

Проведенные расчеты показывают хорошее совпадение с экспериментальными данными. Таким образом, можно будет подбирать радиопоглощающий материал в зависимости от объекта электроэнергетики, нежелательное электромагнитное излучение которого необходимо предотвратить или ослабить. В зависимости от частоты или интенсивности излучения, можно подобрать композитный материал с расчетным процентным количеством ферромагнитных включений, с нужной дисперсностью этих включений, а также рассчитать требуемую толщину слоя защитного покрытия.

В том случае, если излучение объекта происходит в широкополосном интервале, предлагается использовать слоистые покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыньков, Л. М. Методы и средства экранирования электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков, С. Л. Прищепа, В. А. Богуш, В. В. Соловьев. – Минск, 2000. – 106 с.

Е. Ю. Соловьева
Научный руководитель С. Б. Шевцова

ПЕРЕХОД ТЭС НА ОРГАНОВОДОУГОЛЬНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

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

В настоящее время в мире остаются актуальными вопросы, связанные с качественной утилизацией множества отходов, состоящих из водо- и органомоугольных топлив, а также со снижением уровня потребления невозобновляемых природных ресурсов для работы тепловых и электрических станций. В данной работе проведена оценка иной организации системы подачи топлива с использованием органомоугольного топлива.

По сведениям МЭА, с каждым годом человечество потребляет больше угля на 1,8 %. Однако ученые многих стран приходят к выводу, что существует опасность от угольной энергетики, которая несет вред как человеку, так и окружающему миру [1].

Например, в России рассматривают варианты, для того чтобы снизить концентрацию выбросов, производимых предприятиями, загрязняющими атмосферу. Таким образом, в нашей стране в последние годы активно изучались изготовление, использование и различные характеристики водо- и органомоугольных (далее ВУТ и ОВУТ) видов топлива. Анализ имеющейся информации позволяет прийти к следующим выводам: исследования в этой отрасли очень редко находят практическое использование; применив рассматриваемые виды топлива в отрасли энергетики, можно добиться более эффективного процесса утилизации многих угольных и нефтяных отходов, снизить количество потребляемых невозобновляемых источников энергии.

Рассмотрим предполагаемые модернизации, в частности, технологий системы топливного хозяйства тепловой электрической станции при применении ОВУТ. Таким образом, будут происходить следующие изменения: оборудование, предназначенное для мазутных и газовых хозяйств, а также для различных манипуляций с углем (например, хранение, транспортировка, измельчение), теряет свою необходимость, кроме резервуаров с мазутом, так как они будут использоваться для хранения компонентов ОВУТ.

Необходимо также рассмотреть экологическую составляющую технологии внедрения ОВУТ. Согласно экспериментальным данным из внешних источников информации, применение данных видов топлива дают в сравнении с углем понижение концентрации различных оксидов азота и летучей золы на 20 % и оксидов серы на 40 % [2].

Если рассматривать возможность перехода тепловых электрических станций и котельных на ОВУТ, то это позволит упростить системы топливных хозяйств посредством уменьшения количества оборудования. Также стоит

отметить, что посредством данного перехода можно добиться экономии от топливного составляющего производства тепловой и электрической энергии порядка нескольких сотен млн рублей в год, если ТЭС нашей страны перейдут на органоводоугольные суспензии.

Также в дальнейшем планируется более подробно проанализировать данную тему и в качестве практической части исследования осуществить проведение экономического, экологического и технического анализов введения иной системы подачи топлива (с использованием органоводоугольных топлив) на ТЭС, в которой используется твердое, жидкое и газовое виды топлив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Medium Term Coal Market Report 2016. – Paris: International Energy Agency, 2016.
2. Nyashina, G. S. Energy efficiency and environmental aspects of the combustion of coalwater slurries with and without petrochemicals / G. S. Nyashina, G. V. Kuznetsov, P. A. Strizhak // Journal of Cleaner Production. – 2018.
3. Саломатов, В. В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях / В. В. Саломатов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.

СОДЕРЖАНИЕ

А. Р. Васильев, С. А. Кострюков, Ю. В. Гусева. Анализ потенциала выработки электрической энергии на ветровых электростанциях.....	3
И. Н. Строков, И. А. Болдырев. Исследование схем подключения систем отопления зданий.....	4
А. Р. Эль Занин, С. В. Борознин. Атомная станция малой мощности как возможное решение энергетических проблем регионов Дальнего Востока и Крайнего Севера.....	6
М. Б. Говорухина, М. С. Иваницкий. Оценка показателей надежности энергетического оборудования по фактическому техническому состоянию...	7
Н. Г. Котолкян, Ш. М. Милитонян. Тенденции внедрения интеллектуальных систем в электроэнергетике.....	9
Т. И. Бекметов, Л. Р. Куц. Проблемы диагностики состояния измерительных трансформаторов по уровню растворенных в масле газов.....	11
А. С. Сигель, М. В. Попова, Е. Г. Зенина. Снижение влияния помех, обусловленных внешними факторами, на работу микропроцессорной релейной защиты.....	12
Ю. В. Дмитриева, А. С. Круглова, Л. Р. Куц. Снижение потерь электроэнергии при помощи сверхпроводников.....	14
Ю. А. Колтун, М. С. Иваницкий. Нормативные характеристики охлаждающей способности градирен испарительного типа.....	15
В. Д. Виснер, М. С. Иваницкий. Технологические особенности сжигания твердого топлива в слое.....	18
А. Р. Васильев, С. А. Кострюков, Ю. В. Гусева. Разработка методики расчета параметров и рабочих характеристик микрогидротурбины Уэльса.....	20
Н. А. Носачев, Л. Р. Куц. Применение синхронизированных векторных измерений в алгоритмах релейных защит.....	23
А. Р. Васильев, С. А. Кострюков, Ю. В. Гусева. Верификация расчетных параметров физической модели микрогидротурбины Уэльса.....	24
А. Р. Васильев, С. А. Кострюков, Ю. В. Гусева. Нормативно-правовые и технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в отечественной теплоэнергетике.....	27
А. Р. Васильев, С. А. Кострюков, Ю. В. Гусева. Эффективность выработки электроэнергии ветрогенератором на основе ротора Савониуса.....	29
А. И. Недосеко, А. В. Стрижиченко. Расчет технологических потерь электроэнергии в программном комплексе СК-11.....	31
А. С. Кузнецов, О. В. Михайлова. Разработка программного комплекса анализа температурных полей.....	35
Д. С. Новикова, М. В. Одоевцева. Определение параметров настройки регулятора расхода пермеата обратноосмотической установки.....	38

В. Ю. Шевцов, А. Р. Алеева, Н. С. Путимцев, Ю. С. Бахрачева. Применение радиопоглощающих материалов для решения проблемы электромагнитной безопасности объектов электроэнергетики.....	43
Е. Ю. Соловьева, С. Б. Шевцова. Переход ТЭС на органоводоугольные топливные композиции.....	45