

Комитет образования, науки и молодежной политики Волгоградской области
ГБУ ВО «Центр молодежной политики»
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 «Волгоградская консерватория (институт) имени П.А. Серебрякова»

XXVIII РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

НАПРАВЛЕНИЕ «ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

г. Волжский
31 октября – 2 ноября 2023 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Волжский, 2023

УДК 620.9+621.3+681.5
ББК 31

Организационный комитет:
Болдырев И.А., Иваницкий М.С., Стрижиченко А.В.,
Раньжина И.В., Шевченко М.Е.

XXVIII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии», г. Волжский, 31 октября – 2 ноября 2023 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – 59 с.

ISBN 978-5-94721-170-2

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 978-5-94721-170-2

© Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Волжском, 2023
© Авторы, 2023

ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.В. Благочиннов¹, А.С. Кузнецов¹, М.Е. Шевченко¹

Научный руководитель С.В. Мезин²

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭЦ

¹Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

²ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Рассмотрены проблемы контроля состояния подшипников скольжения и представлены результаты исследований, которые показывают, что анализ акустической эмиссии позволяет чувствительно диагностировать изменения в работе подшипников скольжения. Эти исследования были проведены с целью разработки новых методов диагностики для мониторинга паровых турбин тепловых электростанций.

Для диагностики условий эксплуатации подшипников и определения степени повреждения предлагается использовать диагностический прибор (переносная акустическая камера), разработанный фирмой Nuton Acoustics, основанный на акустической эмиссии. Он представляет собой многоканальное средство приема звуковых сигналов с программно-аппаратным комплексом, включающий микрофонную решетку, которая обеспечивает формирование диаграммы узкой направленности.

Измерения проводились на рабочем оборудовании Волжской ТЭЦ-1 ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго». Объектом исследования были подшипники турбогенератора № 6 мощностью 100 МВт. Имели место такие нарушения, как повышенная температура металла на подшипнике и вибрация подшипникового узла.

Диагностическое оборудование устанавливалось в непосредственной близости от паровой турбины и направлялось на корпус испытуемого подшипника. Замеры проводились на нагрузке 70 МВт и 100 МВт на подшипнике № 1, работа которого была без замечаний, и на подшипнике № 7, работающего с замечаниями (рисунок).

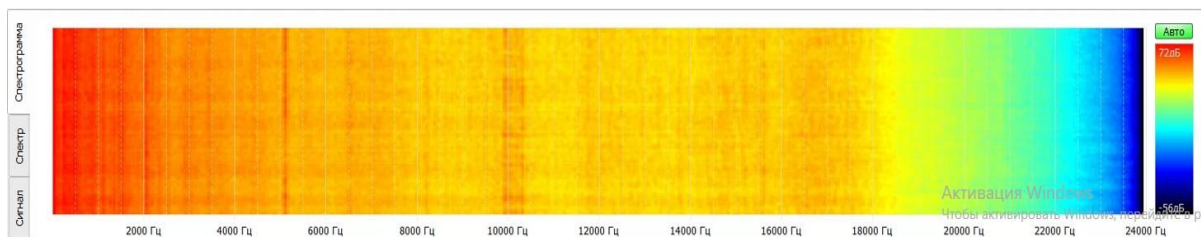


Рисунок. Спектрограмма подшипника № 7 при нагрузке 70 МВт турбогенератора № 6

Представленное тематическое исследование иллюстрирует также взаимосвязь между активностью акустической эмиссии (АЭ) и нагрузкой, которую испытывает паровая турбина. Источниками активности АЭ могут также являться поток пара, поток масла, аэродинамическая турбулентность на лопастях и трение подшипников. Следовательно, при создании и совершенствовании системы мониторинга АЭ для энергетических турбин необходимо уделять должное внимание этим воздействиям на турбину.

Явления, связанные с возможным некритическим повреждением, отображаются в спектре плотности спектрограммы и имеют отличие от графического изображения состояния подшипника без повреждений.

Исходя из объекта исследований, можно сделать вывод, что изменения состояния жидкостного трения подшипника могут быть обнаружены с помощью анализа акустической эмиссии.

Вывод, сделанный на основе анализа современной ситуации и тенденций в области акустической диагностики подшипников турбин ТЭЦ, заключается в том, что данная методика и соответствующие ей инструменты позволяют эффективно и с высокой точностью проводить раннюю диагностику подшипниковых узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панов, А.Н. Применение направленного микрофона для диагностики технического состояния электропривода по его акустической вибрации / А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, А.А. Лысенко и др. // Электротехнические системы и комплексы. – 2019. – № 4 (45). – С. 58–63.
2. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, В.Р. Храмшин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014 (45). – № 1. – С. 129–136.

А.С. Кузнецов

Научный руководитель А.А. Смирнов

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РЕЕСТРОВ**

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

Рассмотрена возможность внедрения алгоритма гомоморфного шифрования в блокчейн с целью повышения конфиденциальности передаваемых данных и возможностью их последующей обработки в зашифрованном виде.

Блокчейн – это платформа, основанная на распределенном реестре с использованием хеш-функций, что позволяет хранить данные на различных сетевых узлах и подписывать каждое действие внутри платформы, тем самым защищая данные от подмены и делая систему надежнее. Классические методы шифрования, используемые в блокчейн, ставят пользователя перед выбором: оставить данные открытыми для возможности вычислений в облачном пространстве или зашифровать данные, сделав их анонимными и непригодными для облачных вычислений.

Блокчейн возможно дополнить сервисами обработки данных, основанных на алгоритме гомоморфного шифрования. Сама суть данного вида шифрования заключается в том, что данные шифруются на стороне пользователя перед их отправкой в облако и в дальнейшем хранятся и обрабатываются только в зашифрованном виде. Это позволяет данным оставаться конфиденциальными, но при этом они могут быть обработаны специальными алгоритмами с целью проведения расчетов. Алгоритмы проводят расчет данных в зашифрованном виде, не дешифруя их, и возвращают зашифрованный ответ, который может быть дешифрован только на стороне пользователя. Это позволяет создать полностью криптографическую систему, где данные могут быть скомпрометированы только на стороне пользователя [1].

В филиале МЭИ в г. Волжском проводятся исследования совместного использования технологии распределенного реестра и централизованного хранилища. Полученные результаты могут быть применены при дальнейшем внедрении данной технологии в цифровую структуру энергетических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Султанов, М.М. Концепция цифровой трансформации энергетических систем в рамках обеспечения надежности, безопасности и экономичности / М.М. Султанов, И.А. Болдырев, Ю.А. Горбань // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сб. материалов 93-го заседания семинара. В 2-х книгах. – Выпуск 72. – Книга 1 – Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. – С. 69–78.

Т.А. Аввакумов
Научный руководитель М.В. Одоевцева
ИОНИТНОЕ УМЯГЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА
УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Предложен способ умягчения концентрата двухстадийной обратноосмотической установки с использованием катионитного фильтра. Рассмотренное решение по переработке концентрата повысит рациональность использования

природных вод и снизит негативное воздействие водоподготовительных установок на окружающую среду.

Применение антискаланта на водоподготовительных установках перед установкой обратного осмоса тормозит протекание реакций солеобразования [1], в связи с чем целесообразно использование метода ионного обмена для предмембранного умягчения концентрата.

Объект исследования – концентрат обратноосмотической установки. Ионный состав концентрата приведен в табл. 1.

Таблица 1

Ионный состав концентрата

Показатели	Размерность	Значения
Ж _о	мг-экв/дм ³	15,2
Ж _{Ca}	мг-экв/дм ³	10,0
Ж _{Mg}	мг-экв/дм ³	5,2
Щ _о	мг-экв/дм ³	8,8
Окисляемость	мг/дм ³ КМnO ₄	105,0
Na ⁺	мг/дм ³	111,0
Cl ⁻	мг/дм ³	133,0
Электропроводность	мкСм/см	1840,0
pH	–	8,2

Эксперимент проводился с использованием ионита в натрий-форме [2, 3]. Ионный состав умягченного концентрата представлен в табл. 2.

Таблица 2

Ионный состав умягченного концентрата

Показатели	Размерность	Значение
Ж _о	мг-экв/дм ³	0,01
Щ _о	мг-экв/дм ³	8,0
Окисляемость	мг/дм ³ КМnO ₄	94,8
Na ⁺	мг/дм ³	285,0
Cl ⁻	мг/дм ³	133,0
Электропроводность	мкСм/см	2384,0

4 литра концентрата пропускались через катионит марки WATEX объемом 400 мл, со скоростью 30 мл/мин. Из представленных данных (табл. 2) видно, что жесткость концентрата снизилась более чем в 1000 раз, концентрация ионов натрия и солесодержание умягченного потока возросли. Концентрация ионов хлора в фильтрате осталась неизменной. Умягченный концентрат перерабатывался на тестовой установке обратного осмоса. Режим работы установки: давление 0,7 МПа, конверсия 54 %, производительность пермеата 3,53 л/ч.

Ионный состав концентрата и пермеата приведены в табл. 3.

Таблица 3

Ионный состав концентрата и пермеата

Показатели	Концентрат	Пермеат
Ж _о , мг-экв/дм ³	1,2	–
Щ _о , мг-экв/дм ³	12,0	1,0
Na ⁺ , мг/дм ³	209,30	0,93
СГ, мг/дм ³	249,000	1,418
Электропроводность, мкСм/см	3776	21

Качество пермеата соответствует по составу природной воде, что позволяет рекомендовать умягченный концентрат для смешения с исходной водой.

Совместное применение комбинированного метода переработки концентрата в два раза повысит рациональность использования природной воды и снизит негативное воздействие водоподготовительных установок на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – С. 108–123, 168–176.
2. ГОСТ 20298-2022. Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия.
3. Хмельницкий, Р.А. Физическая и коллоидная химия / Р.А. Хмельницкий. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 200–202.

М.В. Бабасиев, А.Е. Халаджян

Научный руководитель А.С. Кузнецов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИЙ
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

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

Проведено сравнение традиционных способов инспекции объектов генерации энергии и инспекции с использованием беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрен метод очистки поверхности солнечных панелей с использованием БПЛА.

Развитие энергетики привело к появлению различных типов объектов генерации энергии. На сегодняшний день к ним относятся не только теплоэлектростанции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС) и атомные электростанции (АЭС), но и солнечные станции (СЭС), ветряные станции (ВЭС), геотермальные и другие типы станций. Объекты альтернативной энергетики, особенно СЭС и ВЭС, о которых и пойдет речь, требуют регулярного обслуживания и проведения инспекций. Спектр применяемых методов осмотра сегодня достаточно широк:

-
-
- осмотры с земли (пешие);
 - осмотры с применением моторизированной техники;
 - веревочный метод осмотра;
 - аэроосмотры с применением летательных аппаратов.

Традиционные методы осмотра получили широкое применение ввиду отсутствия альтернативных методов в прошлом. Но при применении этих методов возникают определенные проблемы инспекции объектов генерации энергии альтернативной энергетики.

Экономические затраты. Себестоимость затрат включает в себя стоимость эксплуатации оборудования, затраты на подготовку и работу персонала, возможные потери в случае отключения энергии и др.

Большие затраты времени. Много зависит от масштабов и характера объекта, а также задач инспекции. Также потребуется определенное время на анализ собранных данных, подготовку документов и т. п.

Человеческий фактор. Степень надежности оборудования на станции зависит от частоты и регулярности инспекций, климатических условий и ландшафта. Большие затраты на оборудование и работу сотрудников в совокупности со сложными условиями работы могут привести к тому, что инспекция будет проводиться не по стандартам и нормативам, а по наличию финансовых и человеческих ресурсов у ответственной организации.

Угрожающие факторы. Это еще одни обстоятельства, которые ставят под вопрос эффективность традиционных методов проверок, наличие и степень риска при выполнении работ. Даже при работе с оборудованием в благоприятных условиях климата и ландшафта существует потенциальный риск для персонала.

Инспекции с помощью БПЛА могут повысить эффективность проверок станций альтернативной энергетики. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – это аэродинамические устройства, которые способны выполнять задачи без прямого участия пилота. Они оснащены различными датчиками, камерами и другим оборудованием для сбора данных и выполнения определенных функций. Существуют БПЛА самолетного и мультироторного типов. Последние обладают возможностью зависать в воздухе, что позволяет пилотам рассмотреть, снять и зафиксировать повреждения [1]. Поэтому мы будем говорить о БПЛА второго типа: quadro- и октокоптерах. Преимуществами таких устройств являются [2]:

- возможность проведения работ в труднодоступных или опасных местах для человека;
- портативность и быстрое развертывание. Нет трудностей с транспортировкой и подготовкой к работе;
- высокая производительность. Возможность отправлять отснятые кадры в реальном времени в штаб-квартиру организации для оперативного анализа и принятия решения на основе самой свежей информации, сохранять и архивировать данные для последующего выполнения расчетов;

- снижение рисков для здоровья специалистов за счет уменьшения участия человека в опасных работах;
- снижение затрат на оборудование для проведения инспекций объектов генерации электроэнергии;
- увеличение числа ежегодных инспекций объектов генерации энергии для своевременного обнаружения и устранения неисправностей.

К недостаткам БПЛА относятся:

- большой объем согласованных действий для проведения аэрофотосъемки. Однако правительство РФ, оценив потенциал отрасли, прилагает максимум усилий для создания необходимой нормативно-правовой базы в сфере применений беспилотных воздушных судов;
- потребность ответственной организации в наличии квалифицированных специалистов, способных управлять БПЛА и анализировать полученные с его помощью данные;
- зависимость от погодных условий.

Примеры и задокументированные отчеты компаний говорят о выгоде полученной предприятиями от внедрения беспилотных технологий. Например, группа компаний «Хевел» впервые задействовала беспилотники для инспекции многочисленных рядов солнечных модулей на Майминской солнечной электростанции, расположенной в нескольких километрах от Горно-Алтайска (Республика Алтай). До применения БПЛА диагностику проводили работники электростанции, сейчас же персонал привлекается только в случае выявления проблем. Использование новой технологии позволяет в 15 раз сократить время на проверку элементов солнечной электростанции.

На поверхности солнечных панелей накапливаются пыль и грязь, что отрицательно влияет на их производительность. Для поддержки максимальной эффективности солнечные панели необходимо регулярно очищать от загрязнений. Решить проблему предлагают с помощью специальных дронов-чистильщиков. Система для очистки и мониторинга СЭС включает в себя коптер и емкость с чистящим средством. При необходимости регулярной, периодической и запланированной очистки солнечных панелей можно применить док-станцию, используемую для защиты дрона от непогоды, а также автоматической подзарядки его аккумуляторов и пополнения резервуара с чистящим раствором.

В ходе своего полета коптер будет висеть над каждой солнечной панелью и определять степень загрязнения, а также фиксировать другие параметры ее работы, используя термодатчики, лидары и картографические камеры. Затем, при необходимости, беспилотник обработает панель чистящим средством и перейдет к следующей и т. д. За счет специального оборудования дрон способен точно позиционироваться в пространстве и не будет касаться самих панелей, минимизируя риск их повреждения.

При сравнении традиционных методов инспекции объектов генерации энергии и метода с использованием БПЛА мы можем сделать вывод, что

использование БПЛА повышает эффективность инспекций. Благодаря большому разнообразию полезной нагрузки, коптеры можно использовать не только для инспекции, но и для планового и внепланового обслуживания станции. К примеру, использование резервуара с чистящим средством позволяет производить очистку поверхности солнечных панелей от загрязнения для поддержания максимального уровня эффективности.

Прогнозируется, что в ближайшие десятилетия число станций альтернативной энергетики будет быстро увеличиваться. В связи с этим использование БПЛА для инспекции объектов генерации энергии является наилучшим решением для скорейшей автоматизации и окупаемости активно развивающейся отрасли энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев, П.В. Контроль и осмотр высоковольтных линий электропередачи с применением беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера / П.В. Беляев, А.П. Головский // Проблемы машиноведения: материалы III Международной научно-технической конференции, 23–24 апреля 2019 г. В 2 ч. Ч. 1. – Омск, 2019. – С. 234–238.

2. Валиев, А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России / А. Валиев. // Электроэнергия. – 2011. – № 6.

Ф.Е. Болдарев, С.С. Ширяйкин
Научный руководитель М.С. Иваницкий
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
ПРИ РАБОТЕ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК ТЭЦ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Наиболее распространенной причиной возникновения технологических нарушений в работе энергетического оборудования является физический износ [1]. Согласно материалам ОРГРЭС [2–4], к 2010 году около 50 % мощностей всех электростанций выработали проектный ресурс. Значительная часть паровых турбин электростанций работает за пределами своего паркового ресурса. При современных объемах капитального строительства только эффективная ремонтная деятельность позволяет поддерживать оборудование в рабочем состоянии в течение некоторого времени.

На основе анализа статистики отказов паровых турбин ТЭЦ были построены графики распределения отказов по неисправностям и системам турбоагрегатов, представленные на рисунке.

Анализ обобщенных данных показывает, что наибольшее количество отказов и вынужденных остановов происходит из-за срабатывания защиты. Из 28 отказов по защите турбоагрегата 10 наблюдались вследствие некорректной работы системы защиты или неисправности в ее работе.

Анализ полученных результатов показывает, что износ оборудования влияет на количество возникающих отказов (рисунок), а также на то, как отличается коэффициент оперативной готовности для разных систем и функциональных узлов паровых турбин. Приведенные данные позволяют судить о том, в каких системах возникают наиболее влиятельные отказы, вызывающие самое длительное время простоя паровых турбин.

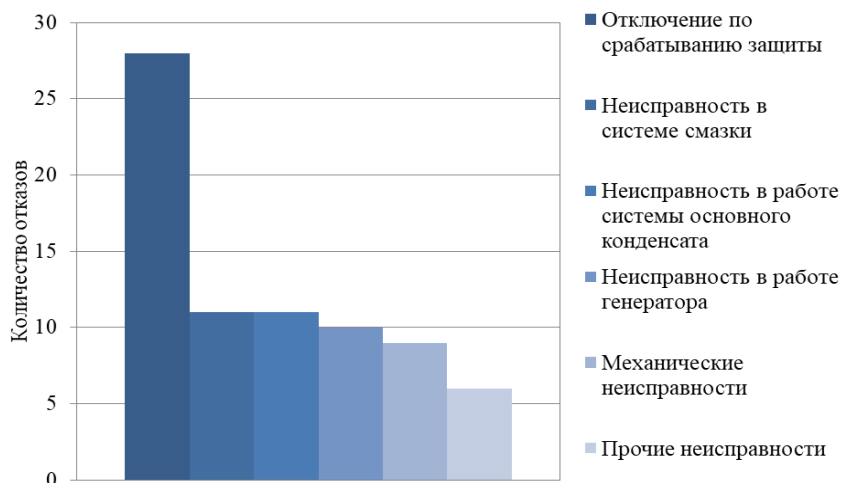


Рисунок. Обобщенные результаты технологических отказов и неисправностей систем турбоагрегатов

В случае снижения коэффициента оперативной готовности до 0,9 дальнейшая эксплуатация оборудования не рекомендуется, так как вероятность отказа оборудования становится довольно значительной. В этой связи необходимо осуществить требуемое физическое воздействие на узлы и элементы технологического оборудования.

Результаты исследования показывают, что полученные результаты могут быть применены на тепловых электрических станциях для прогнозирования технологических отказов энергетического оборудования с целью совершенствования программы ремонтной деятельности паротурбинных установок ТЭЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко, А.В. Тепловые и атомные электростанции: справочник / под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 645 с.
2. Резинских, В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин / В.Ф. Резинских, В.И. Гладштейн, Г.Д. Авруцкий. – М.: Издательство МЭИ, 2007. – 269 с.
3. Гладштейн, В.И. Оценка надежности литых корпусных деталей паровых турбин, имеющих неоднократные ремонтные подварки / В.И. Гладштейн, А.А. Любимов, О.А. Пульчева // Электрические станции. – 2009. – № 8. – С. 24–28.
4. Литвак, В.В. Оценка индивидуального ресурса паровой турбины на основе ремонтной истории / В.В. Литвак, Л.В. Савостьянова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: STT, 2013. – 158 с.: ил.

А.Р. Васильев
Научный руководитель М.С. Иваницкий
**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНОЙ ТЭЦ**
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В результате горения топлива в котлах на тепловых электрических станциях образуются парниковые газы (оксид углерода). В соответствии с природоохранным законодательством на отечественных энергетических предприятиях проводится эксперимент по квотированию загрязняющих выбросов [1, 2]. При этом энергетические предприятия, участвующие в эксперименте, должны определить технологические показатели выбросов, в том числе массовые выбросы парниковых газов в атмосферный воздух [3–8].

В связи с этим в работе проведена сравнительная оценка выбросов парниковых газов при сжигании топлива на газомазутной ТЭЦ (на примере энергетического котла паропроизводительностью 320 т/ч).

На рисунке представлены результаты расчетов объемной концентрации CO_2 в продуктах сгорания различных видов органического топлива (природный газ, $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 35,13 \text{ МДж/м}^3$, месторождения Саушино – Лог – Волгоград, высокосернистый мазут, $S^{\text{P}} = 2,8 \%$, $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 38,77 \text{ МДж/м}^3$, и комбинированный вариант сжигания природного газа и мазута).



Рисунок. Объемная концентрация CO_2 в продуктах сгорания органического топлива

Расчет валовых выбросов CO_2 с учетом теплотехнических характеристик натурального топлива выполняется по формуле

$$M_{\text{CO}_2} = B_{\text{нат}} \cdot \rho_{\text{CO}_2} \cdot V_{\text{ю}_2}, \quad (1)$$

где $V_{\text{нат}}$ – расход натурального газообразного топлива (мазута) за отчетный период, тыс. м³ (тыс. т); ρ_{CO_2} – плотность двуокиси углерода, кг/м³, принимаемая равной 1,98 кг/м³; V_{CO_2} – объем двуокиси углерода в продуктах сгорания газообразного топлива, м³/м³ [9].

Результаты расчетов показывают, что при работе парового котла Е-320-140 ГМ на номинальной нагрузке в условиях сжигания природного газа годовые массовые выбросы углекислого газа составляют 192 925 тонн, а при использовании высокосернистого мазута – 277 176 тонн. Для комбинированных вариантов сжигания природного газа и мазута (для теплового баланса по теплу) получены следующие результаты: 50 % мазута / 50 % природного газа – 235 050 тонн, 30 % мазута / 70 % природного газа – 218 200 тонн, 70 % мазута / 30 % природного газа – 251 901 тонна, 20 % мазута / 80 % природного газа – 209 775 тонн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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: 11.10.2023).
3. Иваницкий, М.С. Токсичность уходящих газов твердотопливного котла КЕ-25-14С / М.С. Иваницкий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 77–84.
4. Иваницкий, М.С. Содержание токсичных продуктов в уходящих газах перспективных угольных энергоблоков 660 и 1060 МВт / М.С. Иваницкий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 4. – С. 5–9.
5. Иваницкий, М.С. Выбросы диоксида углерода в атмосферу при эксплуатации пылеугольных котлов ТЭС / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – № 3 (95). – С. 63–67.
6. Грига, А.Д. Построение модели расчета концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах энергетических котлов / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, Ю.В. Васильева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – № 5–6. – С. 43–47.
7. Иваницкий, М.С. Исследование токсичности уходящих газов твердотопливных котлов малой мощности / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 1 (99). – С. 56–61.
8. Пат. RU 2499192 С1. Способ автоматического регулирования процесса горения в тепловом агрегате / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, В.М. Фокин. № 2012129072/06; заявл. 10.07.2012; опубл. 20.11.2013.
9. Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П.В. Росляков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с.: ил.

А.Р. Васильев
Научный руководитель М.С. Иваницкий
**ВЫБОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ
НА ТЭЦ МОЩНОСТЬЮ 50 МВт**
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Сжигание органического топлива на тепловых электрических станциях приводит к образованию в продуктах сгорания котельных установок парниковых газов, в основном представленных углекислым газом. В рамках действующего природоохранного законодательства проводится эксперимент по квотированию вредных (загрязняющих) выбросов, одной из задач которого является определение массы выбросов парниковых газов, рассчитанных для каждого источника загрязняющих выбросов [1–4]. В данной работе выполнен анализ выбора методов снижения выбросов парниковых газов в атмосферу при сжигании топлива на теплоэлектростанциях (ТЭЦ).

На рисунке представлены результаты оценки капиталовложений для различных технологий (варианты) очистки дымовых газов теплоэлектростанций электрической мощностью 50 МВт.

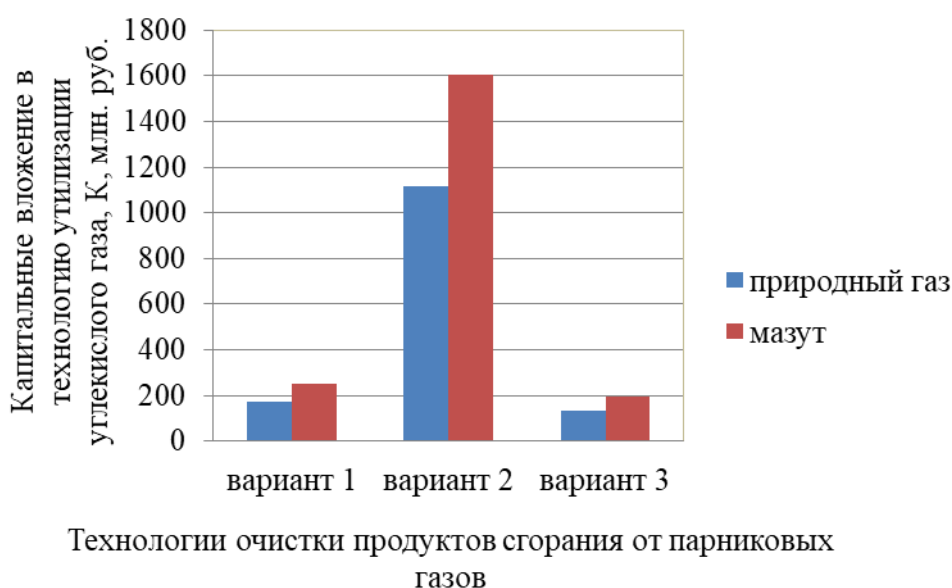


Рисунок. Зависимость капитальных вложений в очистку выбросов от углекислого газа: вариант 1 – выделение CO_2 из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле; вариант 2 – мембранные технологии захвата CO_2 до сжигания органического топлива; вариант 3 – экологически чистое выделение CO_2 с помощью ферментов [2]

В ходе расчетов установлено, что для кальциево-карбонатного цикла $K = 3500$ руб., для технологии захвата CO_2 до сжигания органического топлива

$K = 22\ 400$ руб., для технологии ферментации $K = 2700$ руб. на каждый киловатт установленной электрической мощности ТЭЦ.

Таким образом, внедрение современных технологий очистки продуктов сгорания от парниковых газов сопровождается высокими удельными капиталовложениями. Однако в условиях государственного регулирования природоохранной деятельности для энергетических предприятий существует возможность снижения приведенных затрат посредством реализации на действующем производстве наилучших доступных технологий [5–8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 11.10.2023).
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. Иваницкий, М.С. Токсичность уходящих газов твердотопливного котла KE-25-14C / М.С. Иваницкий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 77–84.
4. Иваницкий, М.С. Исследование токсичности уходящих газов твердотопливных котлов малой мощности / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 1 (99). – С. 56–61.
5. Пат. RU 2499192 С1. Способ автоматического регулирования процесса горения в тепловом агрегате / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, В.М. Фокин. № 2012129072/06; заявл. 10.07.2012; опубл. 20.11.2013.
6. Иваницкий, М.С. Содержание токсичных продуктов в уходящих газах перспективных угольных энергоблоков 660 и 1060 МВт / М.С. Иваницкий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 4. – С. 5–9.
7. Иваницкий, М.С. Выбросы диоксида углерода в атмосферу при эксплуатации пылеугольных котлов ТЭС / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – № 3 (95). – С. 63–67.
8. Грига, А.Д. Построение модели расчета концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах энергетических котлов / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, Ю.В. Васильева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – № 5–6. – С. 43–47.

А.Р. Васильев, С.А. Кострюков
Научный руководитель М.С. Иваницкий
**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБОСНОВАНИЯ
ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ
НА ТЭЦ МОЩНОСТЬЮ 50 МВт**
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Отечественные теплоэнергетические предприятия участвуют в эксперименте по квотированию выбросов загрязняющих веществ с соблюдением принципа технологического нормирования. В части повышения конкурентоспособности отечественной электроэнергетики рассматриваются вопросы ограничения поступления в атмосферу парниковых газов, образующихся при сжигании любого органического топлива.

Современные технологии утилизации выбросов парниковых газов характеризуются высокими капитальными вложениями при их внедрении на действующем производстве. В этой связи реализация такого рода природоохранных мер на реальных объектах теплоэнергетики требует детального предпроектного технико-экономического обоснования [1, 2]. В табл. 1 представлены показатели финансовых затрат на реализацию природоохранных технологий на объектах теплоэнергетики.

Таблица 1

Финансовые затраты на внедрение природоохранных технологий

Финансовые затраты	Кальциево-карбонатный цикл ($\eta_{01} = 85\%$)	Мембранные Технологии ($\eta_{02} = 80\%$)	Ферментация ($\eta_{03} = 87,5\%$)
Затраты на оборудование K_1 , млн руб.	131,71	1148,34	138,61
Проектно-сметные работы, K_2 , млн руб.	6,48	57,38	6,93
Пуско-наладочные мероприятия K_3 , млн руб.	45,65	286,93	34,63
Эксплуатационные затраты K_4 , млн руб.	65,62	114,77	13,85
Капитальные вложения ΣK_i , млн руб.	249,46	1607,42	194,02

Массовые выбросы CO_2 на рассматриваемой ТЭЦ (при работе на высокосернистом мазуте) с учетом установленной мощности 50 МВт и годового режима загрузки 4300 часов составляют 277,176 тыс. т, а при режиме фактической среднегодовой загрузки равны 94,24 тыс. т. Степень очистки выбросов CO_2 принята на уровне $\eta_{0i} = 80\text{--}90\%$ [3–5].

Экономический эффект за счет внедрения мероприятия

$$P_m = M_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{CO}_2}, \quad (1)$$

где M_{CO_2} – массовые выбросы парниковых газов в атмосферу за расчетный период, руб.; S_{CO_2} – норматив платы за выбросы CO_2 в атмосферу от теплоэнергетических предприятий, равный 1300 руб./т CO_2 .

$$P_m = 94240 \cdot 1300 = 122,51 \text{ млн руб.}$$

При этом экономический эффект, в случае внедрения технологии с учетом эксплуатационных затрат, рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 122,51 - 12,25 = 110,26 \text{ млн руб.}$$

Простой срок окупаемости определим по выражению:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\sum K_i}{\mathcal{E}_{\text{эф}}}, \quad (2)$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{249,46}{110,26} = 2,26 \text{ года.}$$

Дисконтированный срок окупаемости имеет вид

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

где $r = 0,14$ – ставка дисконтирования; CF – денежные поступления в период t , млн руб.; n – срок окупаемости, лет.

На основе приведенных зависимостей (1)–(3) выполнены расчеты простого и дисконтированного срока окупаемости рассматриваемых решений. Результаты расчета технико-экономических показателей проектов внедрения природоохранных технологий на ТЭЦ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технико-экономические показатели технологий

Параметры	Кальциево-карбонатный цикл	Мембранные технологии	Ферментация
Экономический эффект, млн. руб.	110,26	73,87	137,83
Простой срок окупаемости, год	2,26	21,76	1,41
Дисконтированный срок окупаемости, год	2,91	> 25	1,69

Следует отметить, что все рассмотренные технологии утилизации парниковых газов применяются на стадии охлаждения продуктов сгорания. Результаты расчетов показывают, что технологии ограничения углекислого газа характеризуются высокими удельными капиталовложениями. В ходе расчетов установлено, что расчетные сроки окупаемости рассматриваемых технологий утилизации (кальциево-карбонатного цикла и ферментации, срок окупаемости не более 3 лет), как это показано в табл. 2, относятся к краткосрочной перспективе возврата капитальных вложений, что является важным критерием при реализации инвестиционных природоохранных проектов на действующих теплоэнергетических объектах [6–8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 11.10.2023).
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. Иваницкий, М.С. Токсичность уходящих газов твердотопливного котла KE-25-14С / М.С. Иваницкий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 77–84.
4. Иваницкий, М.С. Исследование токсичности уходящих газов твердотопливных котлов малой мощности / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 1 (99). – С. 56–61.
5. Пат. RU 2499192 С1. Способ автоматического регулирования процесса горения в тепловом агрегате / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, В.М. Фокин. № 2012129072/06; заявл. 10.07.2012; опубл. 20.11.2013.
6. Иваницкий, М.С. Содержание токсичных продуктов в уходящих газах перспективных угольных энергоблоков 660 и 1060 МВт / М.С. Иваницкий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 4. – С. 5–9.
7. Иваницкий, М.С. Выбросы диоксида углерода в атмосферу при эксплуатации пылеугольных котлов ТЭС / М.С. Иваницкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – № 3 (95). – С. 63–67.
8. Грига, А.Д. Построение модели расчета концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах энергетических котлов / А.Д. Грига, М.С. Иваницкий, Ю.В. Васильева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – № 5–6. – С. 43–47.

А.С. Голубева, К.С. Михайлова
Научный руководитель А.Н. Добров
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ МАСЛЯНЫХ
И ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ЭЛЕГАЗОВЫЕ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Рассмотрены конструкция, эксплуатационные показатели, безопасность и стоимость масляных, воздушных и элегазовых выключателей с целью обоснования необходимости замены на энергообъектах.

Не последняя задача энергетики в современном мире – это повышение надежности и эффективного использования оборудования. Для решения этой задачи на подстанциях устанавливаются силовые выключатели, которые отключают токи нагрузки и токи короткого замыкания в цепях. На данный момент в энергосистемах эксплуатируется большое количество выключателей различных типов: масляных, воздушных, элегазовых и др. [1].

Масляные и воздушные выключатели постепенно уходят на второй план, уступая место элегазовым. Однако элегазовые выключатели так же, как масляные и воздушные, имеют свои недостатки, поэтому авторы в данной статье предлагают проанализировать характеристики перечисленных типов выключателей и выяснить, целесообразна ли осуществляемая замена.

В качестве основных факторов сравнения были выбраны конструкция, эксплуатационные показатели, безопасность персонала, стоимость.

Конструкция. Долговечность и техническое обслуживание каждого типа выключателей зависят от того, как они были сконструированы. Масляные выключатели характеризуются простотой конструкции, но большими габаритами из-за большого объема масла. Дуга в масляных выключателях гасится в масле, которое частично изолирует токоведущие контакты [2].

В воздушных выключателях гашение дуги происходит сжатым воздухом при давлении 2–4 МПа. Конструкция выключателя сложнее, чем у масляных. Установка выключателей также требует большей площади на объекте. Преимуществом конструкции воздушных выключателей является возможность демонтажа для ремонтов и устранения неполадок [3].

Элегазовые выключатели в качестве дугогасящей среды используют электропрочный газ SF₆ – элегаз, который является инертным газом, его плотность превышает плотность воздуха в 5 раз. Электрическая прочность элегаза в 2–3 раза превышает электропрочность воздуха. Конструктивно элегазовые выключатели выделяются простотой исполнения дугогасительной камеры и компактными размерами [4].

Эксплуатационные показатели. Для поддержания работоспособности масляных выключателей необходимо содержать запасы масла, проводить периодический анализ и замену масла.

Воздушные выключатели требуют частой проверки значений давления воздуха в резервуарах. Также не реже одного раза в месяц необходимо удалять накопившийся конденсат. В период дождей необходимо увеличивать подачу воздуха на вентиляцию. При понижении температуры окружающего воздуха ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в шкафах управления полюсов и в распределительном шкафу включают электрический обогрев [3].

Элегазовые выключатели требуют меньшего технического обслуживания. Технический осмотр элегазовых выключателей проводится 1–2 раза в год с целью проверки работы выключателей и контрольно-управляющей системы. Обслуживание элегазовых выключателей сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам или путем замеров 1 раз в 5 лет или через 5–10 тысяч циклов [4].

Для наглядности сравнения эксплуатационных показателей авторами была составлена таблица.

Эксплуатационные показатели выключателей

Сравниваемые параметры	Масляные выключатели	Воздушные выключатели	Элегазовые выключатели
Ресурс выключателя по механической стойкости, выключений за полный срок службы	5 000	10 000	10 000
Срок службы до ремонта, лет	4	8	15–25
Средний срок службы до списания, лет	25	30	40
Обслуживание	Периодическая замена масла	Частая замена дугогасительных контактов, периодическое техобслуживание механизма управления	Смазка механизмов управления

Безопасность обслуживающего персонала является важным признаком при выборе выключателя. Масляные выключатели являются пожаро- и взрывоопасными. Воздушные выключатели имеют достоинства по сравнению с масляными, они пожаро- и взрывобезопасны. Элегазовые выключатели опасны при возможных протечках элегаза. В случае электрической дуги в элегазе происходит образование токсичных побочных продуктов [5].

Стоимость. Первоначальные затраты на элегазовые выключатели выше на 10–40 % в зависимости от класса напряжения, чем затраты на масляные и воздушные выключатели. Ожидаемый срок службы воздушных и элегазовых выключателей 30 лет и больше, масляных – 25 лет. Хотя первоначальные затраты на элегазовые выключатели и больше, но для масляных и воздушных выключателей нужно затрачивать больше трудовых часов. Ремонт и обслуживание этих выключателей в долгосрочной перспективе значительно увеличит стоимость.

Исходя из проведенного анализа следует, что высоковольтные элегазовые выключатели являются надежной и эффективной заменой масляных и воздушных выключателей. Производимая замена является обоснованной, поскольку, несмотря на высокие капиталовложения и опасность при утечке элегаза, данный тип выключателей обладает такими преимуществами, как компактность, нетрудозатратное обслуживание и долговечность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов, С.В. Элегазовые выключатели в современной энергетике / С.В. Ершов, Ю.В. Сухова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 12. – С. 113–115.
2. Назарычев, А.Н. Оценка надежности выключателей распределительных устройств электрических станций и подстанций: учеб. пособие / А.Н. Назарычев, И.Н. Сулыненков, А.И. Таджибаев. – СПб.: ДЕАН, 2018 – 176 с.
3. Хакимьянов, М.И. Электрические и электронные аппараты: учеб. пособие / М.И. Хакимьянов, Р.Т. Хазиева. – Уфа: УГНТУ, 2020. – 198 с.
4. Кириллов, Г.А. Эксплуатация электрооборудования / Г.А. Кириллов, Я.М. Кашин. – М.: НИУ МЭИ, 2018. – 488 с.
5. Привалов, Е.Е. Безопасное обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей: учеб. пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В. А. Ярош; под ред. Е.Е. Привалова. – Ставрополь: СтГАУ, 2020. – 173 с.

В.И. Гильманов, Д.Ю. Клеин
Научный руководитель И.А. Болдырев
АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В статье представлено описание принципа работы комплекса производства горячей воды, математическое описание объекта регулирования, а также система автоматического регулирования температуры воды и проведен анализ результатов проведенного моделирования.

В работе рассматривается комплекс подготовки ГВС с использованием ВИЭ, включающий солнечные коллекторы с вакуумными высокотемпературными трубками TZ58/1800-30R1, тепловой насос Mammoth Mac-05 «воздух – вода», четыре цилиндрических бака-накопителя с водой (каждый объемом по 500 л), четыре трубчатых электронагревателя воды, циркуляционный насос. Структурная схема комплекса показана на рис. 1.

В качестве основной проблемы выявлена низкая энергоэффективность алгоритма управления комплексом. Существующий алгоритм управления опирается только на температуру воды в баках-накопителях и не учитывает текущие метеопараметры, от которых зависит эффективность источников, входящих в комплекс.

Для решения проблемы разработан новый алгоритм управления, который учитывает изменяющиеся условия и потребительские запросы, минимизирует потери энергии.

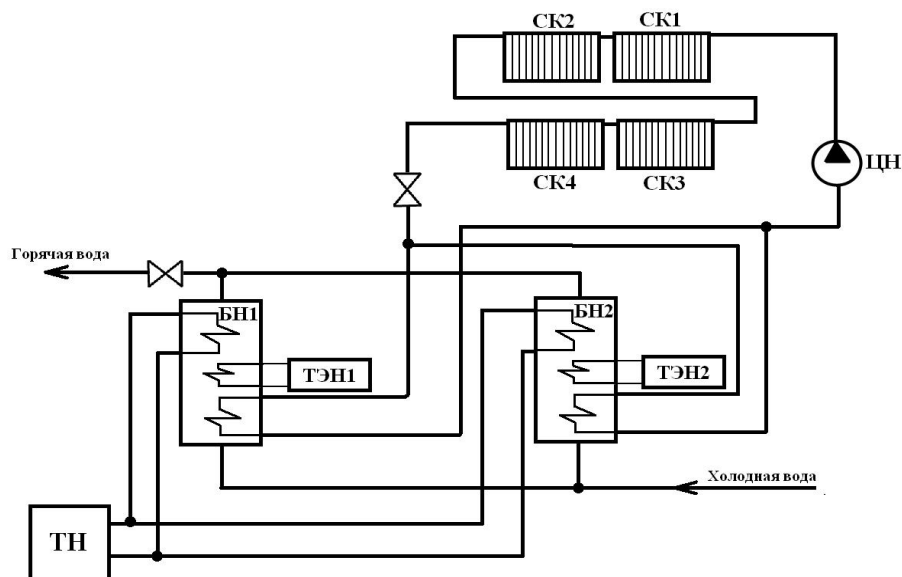


Рис. 1. Общая схема комплекса производства горячей воды

Модель реализована в программном комплексе SimInTech. Она позволит рассчитать расход электроэнергии за сутки двух систем управления.

На рис. 2 представлен расход электрической энергии при работе двух систем управления.

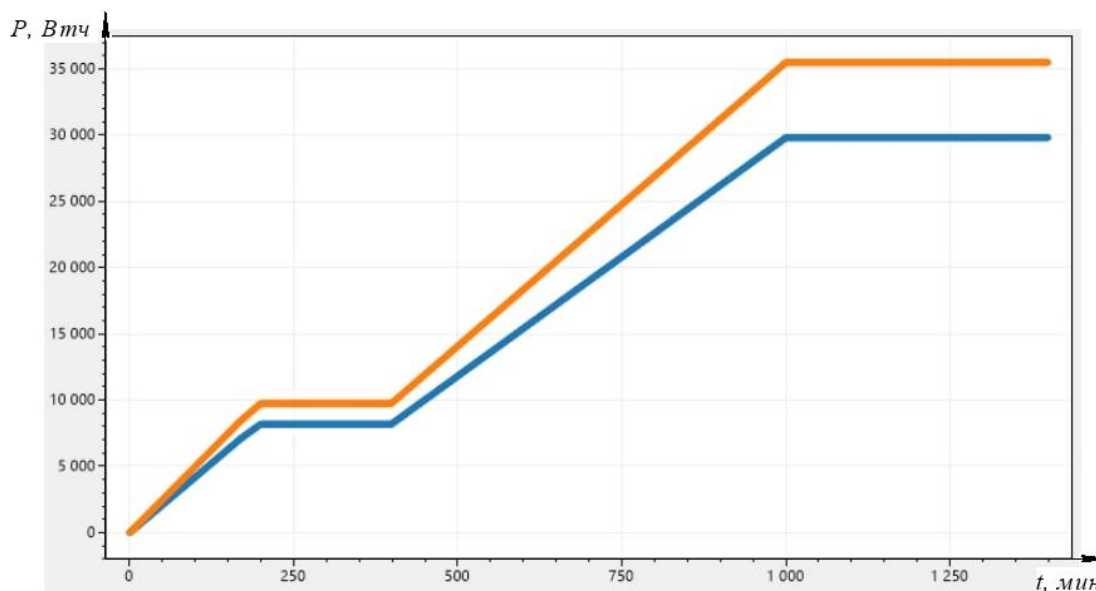


Рис. 2. Суточный расход электрической энергии

На графике видно, что при работе предложенного алгоритма с учетом текущих погодных условий система потребила на 14,2 % меньше электроэнергии, чем текущая система управления в течение одного дня работы установки.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный алгоритм эффективнее, чем существующий, а экономия электроэнергии может составлять до 14,2 % в день при тех же уровнях расхода воды и заданной температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ООО «Фирма «ВИЭН», 2004. – 160 с.
2. Белоусов, В.В. Программно-технические аспекты информационного обеспечения эксплуатации гелиоустановки в составе демонстрационной зоны по энергоснабжению / В.В. Белоусов, С.Н. Глаголев, Ю.А. Кошлич, А.Б. Быстров // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2012. – № 19.– Т. 24.

М.С. Егоров¹, М.Е. Шевченко²

Научный руководитель А.А. Полковников

ПРИМЕНЕНИЕ LSTM ENCODER-DECODER-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В РАБОТЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Волжский филиал Волгоградского государственного университета

²Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Разработана LSTM Encoder-Decoder-модель для выявления аномалий в работе энергетического оборудования. LSTM-модель применялась для построения прогноза параметра температуры баббита упорного подшипника паровой турбины и выявления аномалий во временном ряду. Приведены результаты поиска аномалий в предаварийном режиме работы паровой турбины.

В настоящее время энергетическая отрасль развивается в направлении цифровизации технологических процессов. В связи с этим повышаются требования к сбору технологических данных. Для обеспечения контроля технологического процесса используются системы мониторинга и диагностики оборудования, осуществляющие сбор технологических параметров работы оборудования. Таким образом, возникает массив данных, которые могут быть проанализированы с целью повышения надежности и безопасности эксплуатации энергетического оборудования [1].

Одним из методов анализа данных является применение моделей выявления аномалий. Технологическое применение данных моделей возможно для параметров, которые представляют собой временные ряды. К ним относятся параметры, представленные аналоговыми сигналами. Результаты применения моделей прогнозирования технологических параметров могут быть использованы для выявления аномальных состояний в работе энергетического оборудования на ранних этапах [2].

В работе рассмотрено применение LSTM Encoder-Decoder-моделей для построения прогноза параметра температуры баббита упорного подшипника турбины. Временной ряд содержал участок стационарного режима работы оборудования, переходного режима, а также в конце временного диапазона – предаварийный режим. Выявление аномалий в рассматриваемом параметре позволит выявить дефект подшипника на раннем этапе, следствием чего станет безаварийная работа турбоагрегата в целом. Обнаруженные аномалии, в свою очередь, могут свидетельствовать не только о дефекте технологического узла упорного подшипника, а также о нестабильности работы оборудования, вызванной неравномерной нагрузкой, неисправностью системы маслоснабжения и т. д.

Для выявления аномалий во временных рядах может быть использована LSTM Encoder-Decoder-модель [3]. Модель LSTM Encoder-Decoder – это модель, принимающая входные данные и отправляющая их обратно в компактном виде, при этом данные имеют достаточно информации для преобразования их другим программным/аппаратным воплощением данной математической модели в требуемый формат. Модели LSTM Encoder-Decoder позволяют определить, встречалось ли данное поведение отрезка временного ряда ранее и на основании этого сделать вывод о его нормальности или аномальности.

Для работы с LSTM Encoder-Decoder-моделью была произведена обработка данных. Были созданы классы DataSet, DataLoader, DataPrep, с их помощью временной ряд разбивался на n частей, приводился к нормальному распределению, разбивался на тренировочную и тестовую выборки. Для построения LSTM Encoder-Decoder-модели воспользуемся средствами библиотеки PyTorch для языка Python [4]. Из этой библиотеки импортируем модуль torch.nn, далее с его помощью создадим функцию инициализации модели и forward-функцию, которая описывает шаг обучения модели.

Далее создадим класс Train Model, который описывает процесс обучения модели, также инициализируем класс Anomaly LSTM, который непосредственно указывает на аномалии во временном ряду. Используя все вышеперечисленные классы и методы, построим LSTM Encoder-Decoder-модель обнаружения аномалий во временных рядах. Для этого мы разделяем данный нам ряд на n частей и определяем отношение:

$$\frac{\text{Train}_{i_{MAPE}}}{\text{Test}_{i_{MAPE}}}, \quad (1)$$

где Train_i , Test_i – тренировочная и тестовая выборки на i -м разбиении соответственно.

Определим среднюю абсолютную ошибку в процентах:

$$MAPE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\|y_i - \hat{y}_i\|}{y_i}, \quad (2)$$

где y_i – фактические значения ряда; \hat{y}_i – полученные в результате Encode-Decode-процесса; k – количество наблюдений в разбиении.

После подсчета отношения (1) на каждом разбиении найдем те, на которых отношение (1) максимально, это и есть аномальный участок. На рисунке можно видеть результат работы модели, где крупные черные точки – аномалии.

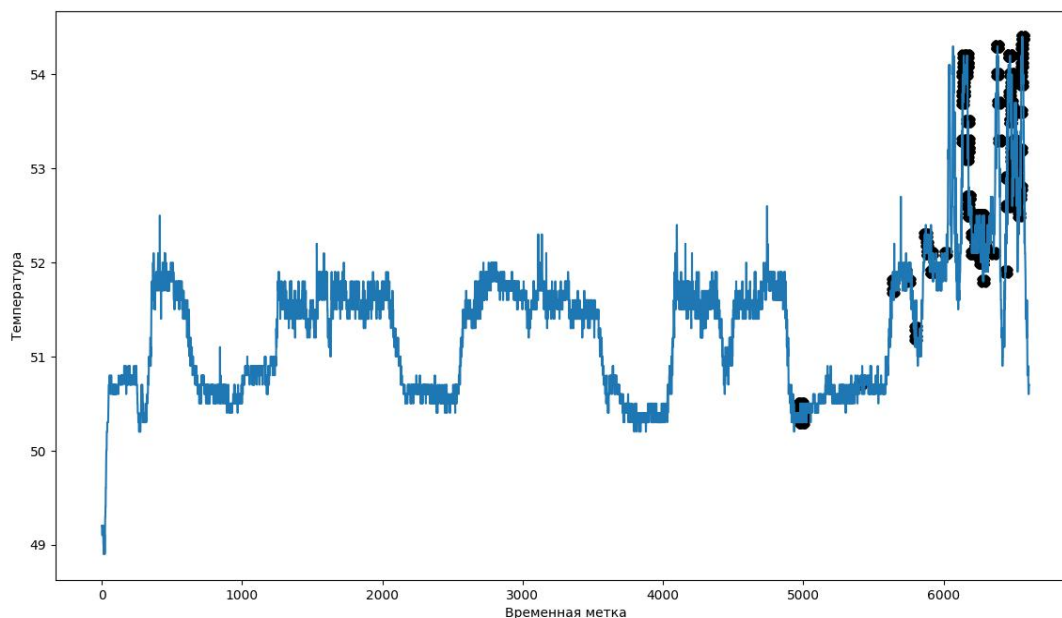


Рисунок. Пример работы LSTM Encoder-Decoder-модели

Полученные результаты могут быть использованы для построения систем, направленных на выявление развития дефектов и предупреждения аварийных режимов работы. LSTM Encoder-Decoder-модель хорошо локализовала аномалии во временном ряду, обнаружение которых является важным фактором предупреждения аварий. Данная модель применялась к параметру температуры баббита, однако данная модель также может применяться для обнаружения аномалий иных технологических параметров, например, электрической мощности, давления, уровня воды др. на тепловых электрических станциях. В частности, такие модели могут быть применены для предупреждения отказов оборудования, оптимизации процессов регулирования и управления технологическими параметрами, а также для выявления скрытых закономерностей в данных, которые могут быть использованы для улучшения эффективности работы станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, М.Е. Анализ сигналов технологического процесса / М.Е. Шевченко // XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии», г. Волжский, 1–15 ноября 2022 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – С. 16–18.
2. Применение ARIMA моделей для прогнозирования отказов в энергетическом оборудовании / А.А. Полковников, О.Н. Масюкова, М.С. Егоров, М.Е. Шевченко // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов: материалы XVII

Международной науч.-практ. конф., г. Волжский, 27–28 апреля 2023 г. / Волж. фил. Федер. гос. авт. образоват. учреждения высш. образования «Волгогр. гос. ун-т». – Волгоград: Сфера, 2023. – С. 127–131.

3. PyTorch LSTM. – URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.LSTM.html> (дата обращения: 09.10.2023).

4. PyTorch. – URL: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html> (дата обращения: 09.10.2023).

В.В. Ефимов

Научный руководитель А.В. Стрижиченко

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА В РАЙОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

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

В данной работе произведен расчет актуализации значений экономической плотности тока проводников в высоковольтных электрических сетях напряжением 35 кВ и выше.

Капитальные затраты – это единовременные экономические средства, необходимые для сооружения новых или реконструкции вновь вводимых объектов.

Стоимость сооружения воздушной линии характеризуются различными параметрами, такими как номинальное напряжение, пропускная способность линии, особенности конструктивного исполнения, климатические особенности в месте пролегания трассы и др.

На первом этапе проектирования варьируемыми параметрами являются номинальное напряжение линии и сечение проводников, а остальные параметры являются фиксированными для каждого участка линии электропередачи. На основе данных параметров происходит разработка нескольких вариантов исполнения электрической сети, которые сравниваются между собой. Для приблизительных расчетов разработаны усредненные показатели стоимости, приведенные в табл. 1 для стальной опоры, выраженные через коэффициенты аппроксимации $A_{л}$, $B_{л}$, $C_{л}$, для линий электропередачи напряжением 35-500 кВ [1].

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации

Климатический район по гололеду	Число цепей	Вид опоры	Коэффициенты		
			$A_{л}$, тыс. руб./км	$B_{л} \cdot 10^{-6}$, тыс. руб./ $(\text{км} \cdot \text{кВ}^2)$	$C_{л} \cdot 10^{-3}$, тыс. руб./ $(\text{км} \cdot \text{мм}^2)$
II	1	Стальная	1926	17 500	2600
	2		2208	51 000	5800
IV	1		2440	17 600	3200
	2		3148	64 400	4400

Для представления зависимости стоимости от варьируемого параметра, такого как площадь сечения проводников линии электропередачи при фиксированном напряжении, зависимость стоимости 1 км линии от площади сечения F представляют линейной зависимостью, тогда зависимость возведения линии электропередачи от заданных параметров можно выразить формулой, тыс. руб./км:

$$K = A_{л} + B_{л} \cdot U_{ном}^2 + C_{л} \cdot F, \quad (1)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение электроустановки, кВ.

Согласно ПУЭ, нормативная плотность тока приведена в табл. 2 [2]. На основе зависимости, приведенной в статье [3], уточним расчеты плотности тока и покажем результаты в табл. 3.

Таблица 2

**Рекомендуемая ПУЭ нормативная плотность тока
для неизолированных алюминиевых и сталеалюминевых проводов**

$T_{нб}$, час	< 3000	3000÷5000	> 5000
$J_{э}$, А/мм ²	1,3	1,1	1,0

Таблица 3

**Предлагаемая нормативная плотность тока
для неизолированных алюминиевых и сталеалюминевых проводов
для линий электропередачи 35 кВ**

$T_{нб}$, час	< 4000	4000÷5000	> 5000
$J_{э}$, А/мм ² при 35 кВ	1,5	1,2	1,1
$J_{э}$, А/мм ² при 110-220 кВ	1,6	1,3	1,1

Актуализация значений экономической плотности тока приведет к уменьшению себестоимости строящихся и реконструируемых линий электропередачи ввиду экономии проводникового материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шведов, Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.: ил.
2. Правила устройства электроустановок ПУЭ. – 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
3. Стрижиченко, А.В. К вопросу актуализации значений экономической плотности тока в электрических сетях 35-220 кВ / А.В. Стрижиченко, В.В. Ефимов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2023. – № 2. – С. 18–20.
4. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с. (Серия «Высшее образование»).

П.Е. Ивашкевич, С.П. Чернов
Научный руководитель Ф.А. Иванов
ПОДВИГ СОВЕТСКИХ СОЛДАТ В СТАЛИНГРАДСКОЙ БИТВЕ
КАК ОБРАЗЕЦ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ДОЛГА
ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ЭНЕРГЕТИКОВ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Сталинградская битва, длившаяся с 17 июля 1942 по 2 февраля 1943 года, стала одновременно и трагической, и героической вехой в истории нашей Родины. Сражение за Сталинградскую землю является ярким примером мужества и стойкости советских солдат, отстоявших свое Отечество. Герои тех лет могут служить убедительным примером для студентов энергетического вуза.

В ходе этой битвы советские воины проявили высокую боевую дисциплину, патриотический подъем и героизм. Они отважно противостояли превосходящим силам противника, несмотря на крайне тяжелые условия, такие как отсутствие боеприпасов и провизии, постоянные бомбардировки, летний зной и лютые морозы. Бойцы Красной Армии сражались до последнего патрона, сдерживая яростный натиск врага и освобождая наши населенные пункты от оккупации гитлеровских войск и их союзников.

Подвиг советских бойцов в ходе Сталинградской битвы должен служить подлинным образцом выполнения патриотического долга не только для будущих энергетиков, но и для всех граждан современной России.

Примеры боевого долга. То, как проявляли себя на поле боя советские солдаты, является поучительным примером для современной молодежи. Зачастую, находясь в экстремальных условиях, они продолжали считать воинский долг своей священной обязанностью. 24 июля вошли в историю герои-танкисты (командир экипажа А.В. Феденко, а также Е.Н. Феденко и И.А. Яковлев). Их Т-34 был атакован сразу десятью фашистскими танками, но, несмотря на это, четыре вражеские машины они сумели подбить. Когда снаряд попал в Т-34, начался пожар. Наши бойцы открыли люки, но поняли, что окружены и их ждет пленение. Плену они выбрали смерть. Из горящего танка по радиации доносилось обращение командира к советским солдатам: «Прощайте, товарищи, не забывайте нас, умираем в горящем танке, но не сдаемся врагу!» Это был их первый бой [1].

Солидарность и братство. 18 августа двое красноармейцев – 19-летний А. Покальчук и 21-летний П. Гутченко – закрыли своими телами амбразуру пулемета у станицы Клетской. Круговой пулеметный обстрел, который фашисты вели с высоты, не позволял продвигаться советским войскам. Сначала Гутченко и Покальчук подползли к дзоту с гранатами и бросили по две штуки. Однако прекратить огонь противника они не смогли. Поэтому, бросившись на амбразуру пулемета, они ценой своих жизней спасли сослуживцев [2].

Патриотизм и верность. Сражавшиеся под Сталинградом советские воины наглядно проявили верность Отчизне. Они готовы были пожертвовать собой

ради сохранения своей страны и ее свободы. 2 октября при защите завода «Красный Октябрь» матрос-доброволец М. Паникаха, оставшись без гранат, пополз из окопа к немецкому танку с двумя бутылками горючей смеси. Пуля попала в одну из бутылок, жидкость разлилась, и пламя охватило тело защитника города. Герой не пытался сбить пламя, а бросился на бронемашину противника, разбив о решетку моторного люка вторую бутылку [3].

Для студентов-энергетиков подобные мужественные поступки советской молодежи в Сталинградской битве могут служить образцом выполнения патриотического долга. Наше студенчество может почерпнуть вдохновение в самоотверженности советских воинов, которые были готовы ежедневно преодолевать трудности на благо Родины, служить своей стране и народу.

Героизм советских бойцов, проявленный в Сталинградской битве, видится сегодняшним студентам-энергетикам достойным примером выполнения долга перед своим Отечеством, который будет вдохновлять на достижение высоких результатов в дальнейшей профессиональной деятельности и служении России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герои Сталинградской битвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://histrf.ru/read/articles/stalinghradskaia-bitva-v-litsakh-ieie-ghieroiev>.
2. Артюшенко, О.Г. Два личных подвига в одном бою – Александр Анатольевич Покальчук и Петр Лаврентьевич Гутченко повторили подвиг Александра Матросова [Электронный ресурс]. – URL: <https://artyushenkooleg.ru/wp-oleg/archives/8342>.
3. Сталинградский Данко: как рядовой Паникаха остановил танки на проспекте Металлургов [Электронный ресурс]. – URL: <https://v1.ru/text/gorod/2018/10/20/65523961/>.

Д.С. Колесниченко
Научный руководитель В.Ю. Ивахнов
**ТЕХНОКРАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ОБРАЗОВАНИИ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**
ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Одной из актуальных проблем современного общества выступает реализация технократического подхода в системе образования. Осознание опасности данного подхода возникает уже в конце XX века в связи с разрывом между научно-техническими достижениями человечества и весьма низким уровнем духовного развития человека.

Технократизм – это фокусирование на технологическом прогрессе и использовании технологий в процессах обучения, учитывая достижения науки и техники. В образовательной среде технократизм проявил себя как идеология, стремящаяся превратить человека в простейший элемент сложного общественного механизма, что выразилось в стандартизации итогов образовательного

процесса, во внедрении технологий во все сферы общественной жизни и подавлении образного восприятия у человека в пользу строгой логичности.

Возникает ситуация противоборства двух подходов, а именно гуманитаризации образования и технократических тенденций в нем. В чем же кроется опасность данного подхода и каковы последствия его реализации?

В условиях доминирования технократического подхода во всех сферах жизни, в том числе и в образовании, происходит существенное сокращение количества социально-гуманитарных дисциплин и часов на их преподавание в учебном процессе в пользу точных и технических наук. Возникает вопрос: насколько приоритетным является социально-гуманитарное знание в условиях техногенной и информационной среды для современного человека? Так, многие студенты вузов, и, в частности, технических, скептически настроены на изучение социально-гуманитарных дисциплин, считая такие науки, как философия, история, социология, культурология, второстепенными, непрактичными.

В связи с этим необходимо определить значимость социально-гуманитарных знаний для образовательного процесса в целом. Во-первых, человек – существо социальное, для которого необходимо знание культуры в целом, и именно посредством гуманитарных наук будущий специалист приобретает навыки взаимодействия как с материальными, так и с духовными ценностями, с окружающим миром культуры. Во-вторых, социально-гуманитарные дисциплины учат критически отстаивать свою позицию, защищать свои идеи и интересы. В-третьих, эти дисциплины помогают студентам расширить свой кругозор, приобрести глубокое понимание социальных и гуманитарных аспектов науки и технологии, а также научиться критически мыслить.

Социально-гуманитарные дисциплины играют ключевую роль в формировании духовного и нравственного облика человека, наделяют его навыками высококультурной коммуникации, ведь все эти качества нужны для высококвалифицированного специалиста. Социально-гуманитарные знания являются неотъемлемой частью инженерного образования и обладают огромным значением для развития не только технических, но и социальных и культурных компетенций у студентов технических вузов.

«Технократическое мышление – это мировоззрение, существенными чертами которого являются примат средства над целью, цели над смыслом и общечеловеческими интересами, смысла над бытием и реальностями современного мира, техники (в том числе и психотехники) над человеком и его ценностями» [1]. Технократический подход может стимулировать представление о технологиях как о средстве для решения всех проблем, что может привести к утрате критического и оценочного мышления у человека. «Для технократического мышления свойственно пренебрежение духовными запросами и потребностями человека, игнорирование биологически обусловленных и психических процессов или, наоборот, их безудержная эксплуатация (в рекламе, политике и т. д.)» [2]. В условиях использования технократического подхода в образовании человек

превращается в биоробота, который будет исходить только из эмпирических данных, и ему будет чужда культура.

В заключение следует сказать, что технократический подход в образовании может выступить как положительная тенденция лишь в том случае, если он гармонично сочетается с должным уровнем социально-гуманитарного, а именно с сохранением баланса в преподаваемых дисциплинах. Учебные заведения, обладая определенной свободой в выборе учебных дисциплин, должны в равной степени оценивать полезность и гуманитарных, и технических знаний для будущих специалистов.

Для этого необходимо создание новой образовательной стратегии, направленной на формирование специалиста, обладающего системным мышлением и фундаментальными знаниями, что возможно только при условии широкого образования, дающего возможности анализа явлений окружающего мира и выработки собственной позиции в отношении социальной действительности, что в корне противоречит интересам современной глобальной элиты, заинтересованной в коммерциализации образования.

Тем не менее в современном образовании сохраняется значительный потенциал для осуществления коррекции современного технократического развития и всестороннего философского осмысления возникающих проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинченко, В.П. Человек развивающийся. Очерки российской психологии / В.П. Зинченко, Е.Б. Моргунов. – М.: Тривола, 1994. – 304 с.
2. Миронов, А.В. Ценности технократизма / А.В. Миронов // Вестник РУДН. Серия Философия. – 2009. – № 2. – С. 5–12.

Е.В. Илюхина

Научный руководитель М.С. Иваницкий

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС

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

Повышение надежности основного энергетического оборудования тепловых электрических станций является базовым требованием и условием безопасной работы генерирующих объектов. С целью текущей оценки и получения прогнозных оценок показателей надежности оборудования на практике применяется методика оценки на основе определения индекса технического состояния энергетического оборудования [1]. В работе выполнена оценка индекса технического состояния котельных установок на основе обобщения статистических данных по технологическим отказам при работе оборудования. На рис. 1 представлены результаты прогнозного изменения индекса технического состояния барабана котельной установки (на примере котла ТГМ-84 Б).

Результаты, представленные на рис. 1 и 2, показывают, что индекс технического состояния котельной установки ТГМ-84 Б за 10 лет эксплуатации при условии отсутствия мер физического воздействия на оборудование снизится до значения 57,4 %, поэтому для дальнейшей надежной и эффективной работы требуется провести мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту (далее ТОиР).

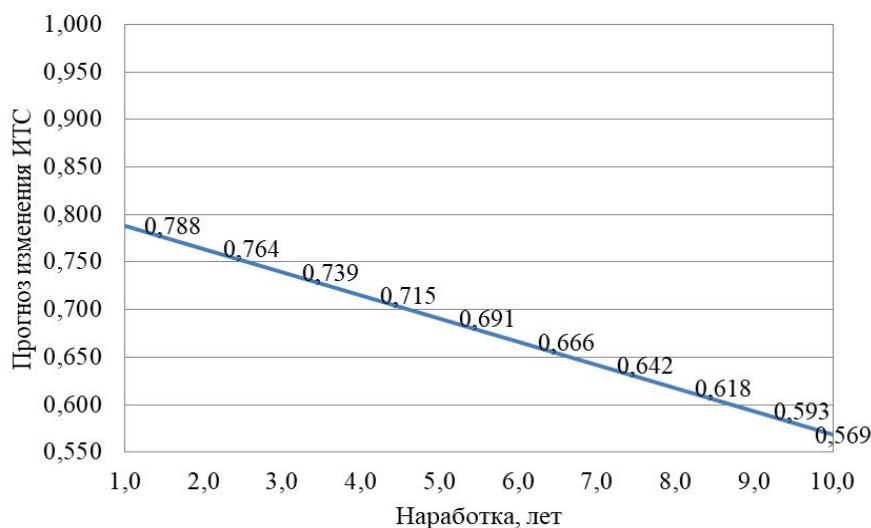


Рис. 1. Прогноз изменения индекса технического состояния барабана котельной установки ТГМ-84 Б

Наилучшим индексом технического состояния $ИТСУ_i = 62,1\%$ будет характеризоваться обмуровка котельной установки ТГМ-84 Б, что говорит об эффективности мероприятий по ТОиР. Наихудшим индексом технического состояния $ИТСУ_i = 48,1\%$ будут обладать элементы газоздушного тракта, следовательно, снижаются надежность и эффективность работы данного оборудования [2, 3].

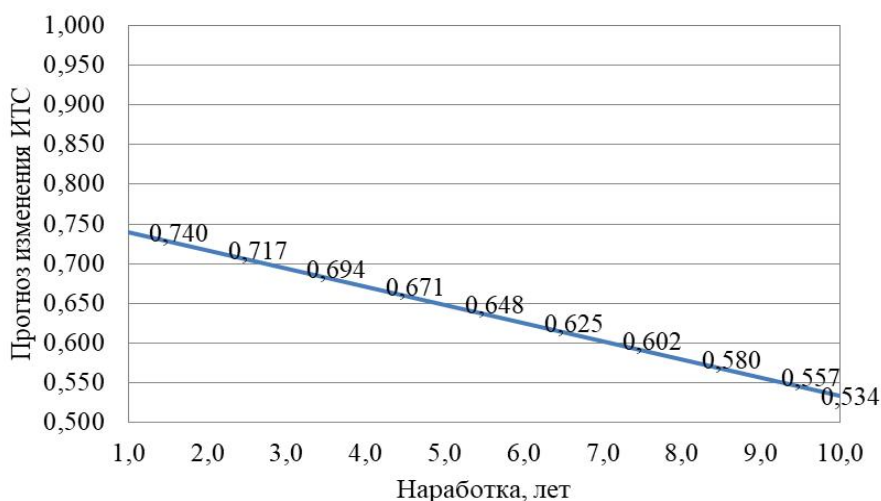


Рис. 2. Прогноз изменения индекса технического состояния конденсаторов и впрысков котельной установки ТГМ-84 Б

Результаты расчета показывают, что вероятность отказа котельного агрегата ТГМ-84Б за 10 лет эксплуатации возрастет до значения 44,1 %, для дальнейшей надежной и эффективной работы требуется провести мероприятия по ТОиР. Самой низкой вероятностью отказа будет обладать обмуровка (36,3 %), что показывает эффективность реализуемых мероприятий по ТОиР. Самой высокой вероятностью отказа будут обладать элементы газозащитного тракта (55,8 %), следовательно, высока вероятность того, что оборудование может выйти из строя.

Полученные результаты могут быть использованы на тепловых электрических станциях для прогнозирования индекса технического состояния функциональных узлов и элементов котельных установок с целью совершенствования программы ремонтной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко, А.В. Тепловые и атомные электростанции: справочник / под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 645 с.
2. Мащенко, С.С. Прогнозирование отказов функциональных элементов котельной установки / С.С. Мащенко // Двадцать седьмая межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов: тезисы докладов, г. Волжский, 24–27 мая 2022 г. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2022. – С. 13–15.
3. Илюхина, Е.В. Надежность эксплуатации основного оборудования ТЭЦ / Е.В. Илюхина, С.С. Мащенко, Ю.П. Сашникова // XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии»: тезисы докладов, г. Волжский, 1–15 ноября 2022 года. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – С. 4–5.

Е.В. Курьянова, М.Е. Шевченко
Научный руководитель М.С. Иваницкий
**РАСЧЕТ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ
БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

Реализация национального проекта «Цифровая экономика» предполагает выполнение ряда мероприятий, направленных на повышение конкурентоспособности российской электроэнергетической отрасли. Таким образом, развитие и совершенствование темпов роста отечественной электроэнергетики должно сопровождаться разработкой и внедрением новых подходов к оценке уровней безопасности и экономичной работы оборудования генерирующих систем.

В настоящее время достижение такого эффекта возможно посредством создания современных цифровых систем, позволяющих в режиме реального

времени осуществлять контроль, оценку текущего технического состояния энергетического оборудования и прогнозирование изменения его параметров во времени [1, 2].

В работе созданы алгоритмы расчета и прогнозирования уровня безопасности и экономической эффективности для генерирующих объектов при производстве электрической и тепловой энергии. Разработанные алгоритмы учитывают важные технологические параметры энергетического оборудования, контроль их изменения в режиме реального времени. Предложенные индикаторы безопасности учитывают вес технологических параметров (тепловая мощность, электрическая мощность, расход топлива, количество технологических нарушений и другие), и их влияние на комплексный показатель энергетической безопасности.

В качестве показателей экономической эффективности приняты удельный расход условного топлива, удельное количество теплоты на выработку электрической энергии, величина себестоимости электрической и тепловой энергии. На примере энергетических объектов рассмотрены энергоблоки тепловых электрических станций, тепловые и электрические сети. Полученные результаты могут быть использованы энергетическими предприятиями при разработке и реализации концепции цифровой трансформации технологического процесса [3, 4].

Результаты выполненного исследования рекомендуется использовать для комплексного обоснования и внедрения цифровых платформ сбора, хранения и передачи данных о текущем состоянии тепло- и электроэнергетических объектов с целью расчета и прогнозирования уровня их безопасности и экономической эффективности в процессах производства и передачи электрической и тепловой энергии.

Следует отметить, что получение прогнозных данных об уровне энергетической безопасности и экономической эффективности энергетических объектов на основе разработанных алгоритмов позволит осуществлять более качественное планирование и реализацию программ ремонтной деятельности оборудования на энергетических предприятиях, ведение режимов работы и распределение электрической нагрузки между параллельно работающим генерирующим оборудованием для эффективного участия на оптовом рынке электроэнергии и мощности, обеспечивать снижение потерь тепловой и электрической энергии при ее передаче.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий» на оборудовании Центра коллективного пользования «Испытательный полигон технологий транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» НТИ МЭИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Султанов, М.М. Методики и модели оценки надежности и безопасности генерирующих и энергетических систем (обзор) / М.М. Султанов, Н.В. Байдакова, Е.В. Курьянова // Новое в российской электроэнергетике. – 2022. – № 10. – С. 35–47.
2. Методика управления энергетическими предприятиями генерирующих и энергетических систем в условиях цифровой трансформации / М.М. Султанов, И.А. Болдырев, П.В. Шамигулов, Е.В. Курьянова, М.С. Иваницкий // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 8. – С. 36–47.
3. Методика оценки уровней безопасности энергоблоков ТЭС / М.М. Султанов, П.В. Шамигулов, И.А. Болдырев, Е.В. Курьянова // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 9. – С.17–30.
4. Курьянова, Е.В. Схемно-технологические решения генерирующих комплексов распределенных энергосистем / Е.В. Курьянова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов XXIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – М., 2023. – С. 938.

Д.Ю. Klein, В.И. Гильманов
Научный руководитель И.А. Болдырев
МОДЕРНИЗАЦИЯ САУ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ
Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В данной работе построена математическая модель ветрогенератора с целью исследования возможности регулирования частоты вырабатываемой электрической энергии, а также регулирования нагрева обмоток генератора.

Рассмотрена ветроустановка с синхронным генератором, в качестве которого используется трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором. Предлагаемый генератор на базе асинхронного электродвигателя имеет ряд преимуществ, таких как простота конструкции, надежность, устойчивость к перегрузкам и короткому замыканию. Основным недостатком является необходимость применения схем регулирования частоты (редукторы или частотные преобразователи). Кроме того, регулирование частоты может привести к потерям энергии из-за необходимости преобразования и управления ею. Это может снизить эффективность генератора [1].

В исследовании предлагается оригинальный способ возбуждения генератора переменным током изменяемой частоты. Это позволяет применять частотный преобразователь на порядок меньшей мощности, чем при использовании в силовой цепи. Таким образом, данный вариант позволяет снизить затраты на оборудование и ремонт.

В работе представлена математическая модель ветроэнергетической установки (ВЭУ) в программном комплексе SimInTech. Полученная математическая модель используется для определения оптимального закона управления, обеспечивающего максимальную генерируемую мощность при изменении скорости ветра [2].

Адекватность модели проверена на стенде «ГалСен», который включает в себя следующие технические средства автоматизации:

- плата сбора данных PCI-6024E;
- частотный преобразователь Altivar-312;
- трансформаторы тока ТП-114-Л198;
- трансформаторы напряжения ТПК-125-Л1537;
- тахогенератор RE.0110.

Также модель ВЭУ была дополнена подсистемой расчета нагрева обмоток и построена в программном комплексе SimInTech (рис. 1).

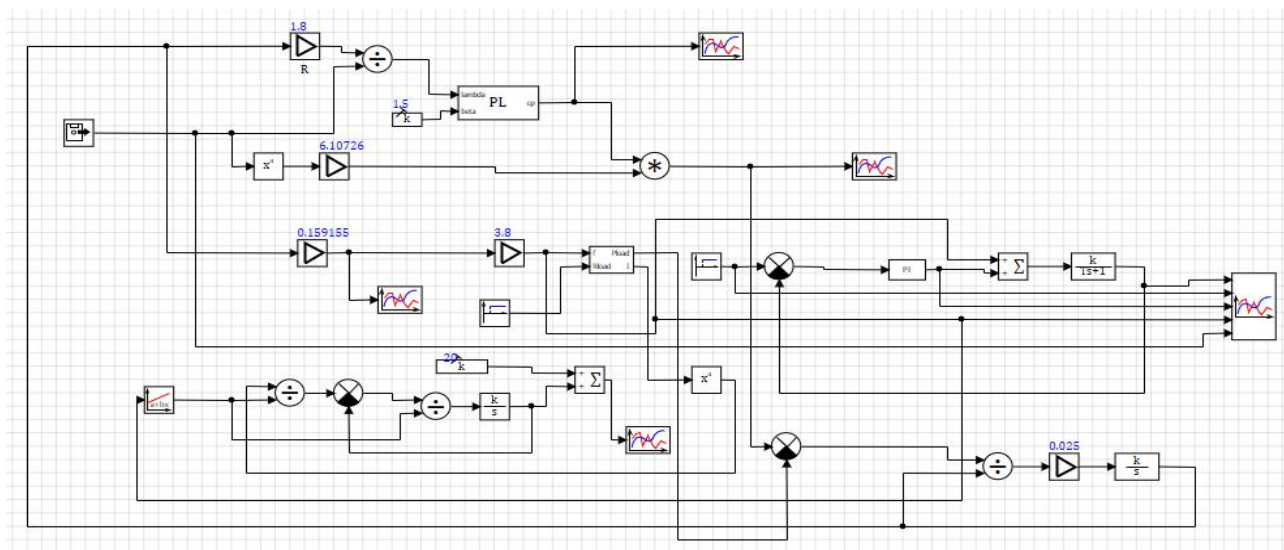


Рис. 1. Динамическая модель ветроэнергетической установки при определении теплового состояния генератора

Таким образом, результаты моделирования частоты вращения ротора и мощности генератора в зависимости от скорости ветра используются для определения динамики процесса нагрева обмоток статора генератора (рис. 2).

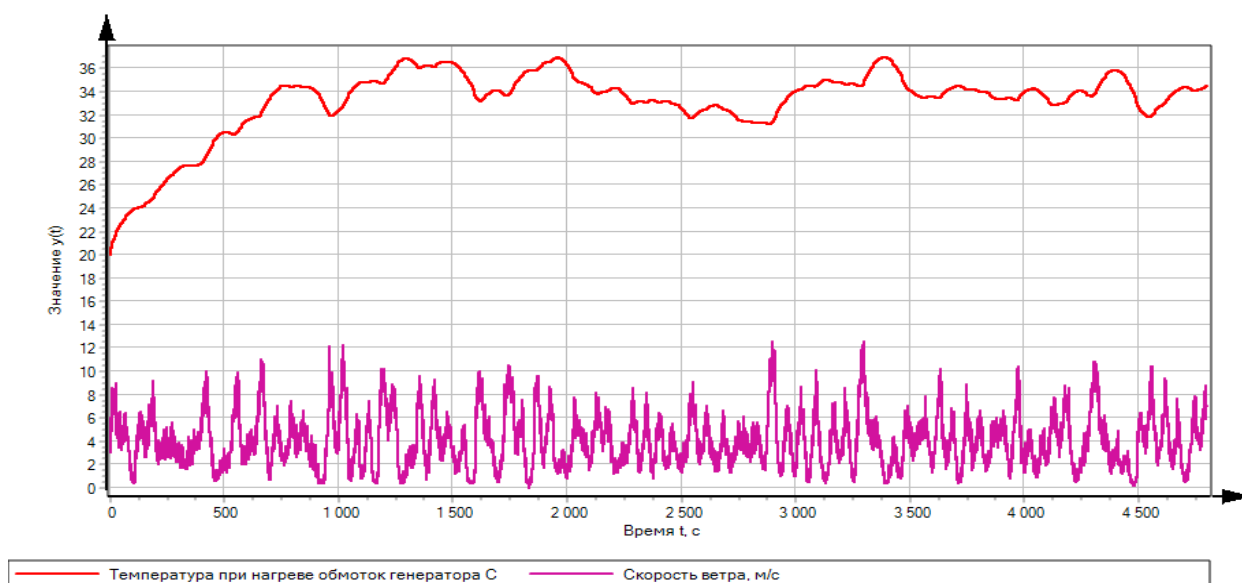


Рис. 2. Изменение температуры при нагреве обмоток статора генератора

На основе рассмотренной в работе модели ВЭУ смоделированы процессы генерации электроэнергии. Показана модель ветроэнергетической установки с учетом модуля расчета нагрева обмоток генератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруких, П.П. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии / П.П. Безруких, Д.С. Стребков. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005.
2. Федорова, К.Г. Структура тепловой модели асинхронного двигателя, применимая для численных методов / К.Г. Федорова // XIX Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тезисы докладов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – С. 278.

С.А. Кострюков
 Научный руководитель Ю.В. Гусева
 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
 РОТОРА САВОНИУСА
 Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Для эффективного внедрения в отечественной электроэнергетике перспективных ветряных электростанций с вертикальным расположением ротора (ротор Савониуса) необходимо разрабатывать модели расчетной оценки параметров и рабочих характеристик ветрогенераторов [1]. Для решения задачи исследования автором выполнено построение нового профиля лопасти ротора ветрогенератора в программе «Компас 3D», изготовлена модельная установка ветроколеса на 3D-принтере из полимерного материала.

Автором разработаны расчетные аналитические зависимости для определения параметров и рабочих характеристик ветрогенераторов с вертикальным расположением ротора:

– коэффициент использования энергии ветра

$$C_p = \frac{4C_x \pi v r}{v} - \frac{16C_x \pi^2 v^2 r^2}{v^2}, \quad (1)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м³; r – радиус лопасти ветрогенератора, м; h – высота ветрогенератора, м; v – частота вращения ротора, об/с; v – скорость потока воздуха, м/с;

– электрическая мощность ветрогенератора, Вт,

$$P = 2C_x \rho r^2 \pi h v v^2 - 8C_x \rho r^3 \pi^2 h v^2. \quad (2)$$

В результате проведенного моделирования профилей ротора Савониуса, выполненных по «золотому сечению» и с углом дуги ковша 68°12', установлены локальные характеристики моделей [2–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янсон, Р.А. Ветроустановки / Р.А. Янсон. – М., 2007. – 36 с: ил.
2. Елаев, М.В. Проблема подсинхронного резонанса в ветроэнергетических установках и системах / М.В., Елаев, А.И. Хальясмаа, В.О. Самойленко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 57–71.
3. Капанский, А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергетической эффективности / А.А. Капанский // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 103–115.
4. Шерьязов, С.К. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электрообеспечения / С.К. Шерьязов, С.С. Исенов, Р.М. Искаков, и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 24–33.
5. Гусева, Ю.В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю.В. Гусева, С.А. Кострюков, А.Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 83–90.

П.Д. Меньшиков

Научный руководитель И.А. Болдырев

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ

РЕСУРСОопРЕДЕЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

Разработан алгоритм, использующий технологии машинного обучения для оценки и прогнозирования значений параметров, которые являются ресурсоопределяющими для данной единицы оборудования. Получены результаты расчетов при помощи данного алгоритма для энергетического оборудования ТЭС, которые показывают возможность применения методов машинного обучения для определения остаточного ресурса оборудования.

Рассматриваемые в настоящей работе параметры технологических процессов производства, распределения и потребления электроэнергии имеют отличия от более простых рассмотренных процессов, в связи с этим предлагается осуществлять прогнозирование технологических параметров, учитывая состояние в предшествующий момент времени не только самого регрессора, но и предикторов, выраженных в виде сопутствующих технологических параметров. В рассматриваемом случае временной ряд является нестационарным и не содержит сезонную компоненту.

Для решения такой задачи в работе использованы выборки по параметрам: температура металла турбин в различных точках ЦВД и ЦСД, на глубине шпильки для паровых турбин мощностью 300 МВт.

Особенностью являлось использование значений, которые взяты из архива АСУ ТП. Согласно настройкам архивирования, значения сохраняются в архив по апертуре и периоду. В связи с этим периодичность и количество значений

в выборках были различными. Используются выборки на временных диапазонах, содержащих как стационарные, так и переходные процессы. Длительность полученных выборок составляет от 20 часов до 25 дней.

Предлагаемая методика прогнозирования позволяет осуществлять предсказание значений технологических параметров на несколько шагов вперед в режиме реального времени по мере поступления данных в систему. В отличие от известных, методика учитывает для энергетических процессов изменения не только исследуемого параметра, но и сопутствующих параметров, что позволяет повысить точность прогнозирования.

О.В. Михайлова, А.С. Кузнецов
Научный руководитель Е.Г. Зенина
**ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЦИИ ОБЪЕКТОВ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Проведен анализ мирового опыта внедрения распределенной генерации. Выявлены принципы, которые позволят повысить надежность и безопасность при эксплуатации распределенной энергетики и микрогенерации.

Альтернативой традиционной централизованной энергетике, основанной на использовании органического топлива, является разнообразие распределенных энергетических систем, использующих нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. К таким системам относятся ветроэнергетика, солнечная энергетика, использование биомассы, а также использование низкопотенциального тепла и тепловых насосов. В соответствии с текущими трендами эксперты предполагают усиление процесса перехода на собственную генерацию и ухода от централизованного энергоснабжения в условиях постоянного повышения цен на централизованную электроэнергию и мощность. К 2035 году ожидается введение дополнительно 13–32 ГВт собственной генерации [1].

Анализ показал, что обозначен выраженный вектор на развитие распределенной генерации, особенно в энергодефицитных регионах. Наиболее актуальным является использование возобновляемых источников энергии, что позволяет более рационально использовать невозобновляемые энергетические ресурсы и действовать в направлении сохранения экологии. Развитие распределенной генерации также связано с прогрессом в развитии умных сетей и сложной автоматике, способных обеспечить нормальную работу системы с множеством источников и взаимосвязей между ними [2].

В ходе проведенных исследований в области мирового опыта внедрения объектов распределенной генерации, ВИЭ, микрогенерации и систем накопления энергии в электроэнергетический сетевой комплекс были выявлены следующие принципы.

1. *Принцип автономности* – использование солнечных, ветровых и биогазовых установок в качестве первичных источников энергии позволяет создать полностью автономные энергоустановки, которые способны обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение для небольших потребителей в различных климатических условиях круглогодично.

2. *Принцип комбинирования* – сочетание солнечных, ветровых и биогазовых установок в комбинированных системах представляется наиболее эффективным, особенно при их оптимальном подборе в зависимости от климатических условий.

3. *Принцип качества* – работа электростанций, имеющих в основе объекты распределенной генерации, микрогенерации и системы накопления энергии, определяется не только количеством установленных энергетических установок, но также зависит от ряда других факторов, включая погодные-климатические условия, характеристики местности и степень использования установленной мощности.

4. *Принцип развития* – необходимость развивать и разрабатывать методики экспериментальной отработки и дальнейшего усовершенствования математических моделей автономных энергоустановок, основанных на возобновляемых источниках энергии, представляется главным фактором, влияющим на темпы роста доли объектов распределенной генерации и их эффективного применения. Эти методики являются неотъемлемой основой для определения оптимальных конфигураций энергоустановок, учитывающих различные реальные климатические условия эксплуатации и потребности людей, эксплуатирующих такие установки.

5. *Принцип снижения расходов* – с увеличением мощности электростанции расходы на 1 кВт установленной мощности снижаются. Наиболее ярко это наблюдается у биогазовых установок. Электростанции любой мощности на основе фотоэлементов строятся по модульному принципу, как и ветроустановки мощностью от 100 кВт, в этом случае увеличение мощности не приводит к значительному снижению затрат на единицу установленной мощности. Биогазовые установки мощностью свыше 20 кВт наиболее экономически эффективны, но требуют большого количества сырья, их использование ограничивается только большими сельскохозяйственными или животноводческими предприятиями.

6. *Принцип обеспечения безопасности* – расположение электроэнергетических установок должно быть регламентировано санитарно-эпидемиологическими нормами. Ветроэнергетические, газопоршневые станции производят шум, а биогазовые установки хоть и герметичны, но имеют отвод перебродившей массы, что может провоцировать возникновение неприятного запаха вблизи таких установок, поэтому предпочтительнее размещать вышеперечисленное оборудование на специальных полигонах. Фотоэлементы можно располагать на элементах зданий (крыши, фасады), они не будут создавать шумового загрязнения и портить внешний вид среды, что является существенным

преимуществом, если люди находятся в непосредственной близости от генерирующей установки.

7. *Принцип эффективности* – для обеспечения города энергией в пиковые часы и во избежание отключений необходимо накапливать излишки энергии и распределять ее по системе. Солнечная электростанция, ветроэлектростанция или мини-ТЭЦ не могут поддерживать город по отдельности, однако несколько станций в разных частях региона способны через общую сеть питать регион.

8. *Принцип надежности* – должна производиться корректировка уставок защит и автоматики в соответствии с изменением технических условий присоединенной мощности.

Применение принципов интеграции распределенного производства электроэнергии, микрогенерации, управляемого потребления позволит повысить устойчивость, надежность и независимость энергоснабжения регионов с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов, ВИЭ и распределенной генерации, тем самым обеспечит энергетическую безопасность и развитие энергетической инфраструктуры для опережающего социально-экономического развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, А.С. Автоматизация систем когенерации в комплексах малой генерации / А.С. Кузнецов // XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: тезисы докладов, г. Волжский, 01–15 ноября 2022 г. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – С. 38–39.

2. Кучеров, Ю.Н. Анализ общих технических требований к распределенным источникам энергии при их интеграции в энергосистему / Ю.Н. Кучеров и др. // Электрические станции. – 2016. – № 3 (2016). – С. 2–10.

П.А. Нечитайлов

Научный руководитель А.В. Стрижиченко

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПС 110/6 КВ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ВИЭ И АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИИ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ СЕТИ 110 КВ

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

Разработано технологическое решение для повышения надежности подстанции (ПС) 110/6 кВ с интеграцией в качестве возобновляемого источника энергии (ВИЭ). Комплекс состоит из двух ветроэнергетических установок (ВЭУ), а в качестве аккумуляторов применяются системы накопления электрической энергии.

Рассматриваемая трансформаторная подстанция 110/6 кВ узловая имеет электрическое соединение через кабельные и воздушные линии с другими

подстанциями. От ее работы зависит функционирование других ПС, имеющих электрическое соединение с ней. Особенно это касается ПС, для которых она является единственным источником получения электроэнергии. И если на обычных ПС для дополнительного питания наиболее важного оборудования установлены аккумуляторные батареи, то тяговые ПС необходимо питать, ведь от их работы зависят перевозки пассажиров и грузов по РЖД.

Вопрос повышения надежности ПС 110/6 кВ является одной из главных задач как при проектировании, так и при эксплуатации. Нарушение электроснабжения многих технологических процессов может привести к перерывам электроснабжения и ущербам. В любом случае перерыв в электроснабжении потребителей как промышленного, так и сельскохозяйственного назначения, а также транспорта приводит к экономическим потерям.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Надежность – комплексное свойство объекта, включающее в себя несколько более простых свойств, таких как безотказность, восстанавливаемость, неповреждаемость, долговечность, устойчивость, ремонтпригодность, управляемость, живучесть, сохраняемость, безопасность. Согласно [1] для объектов энергетики предложено ввести еще два свойства надежности – бесперебойность и маневренность. В рамках модернизации ПС под надежностью будем понимать бесперебойность.

Если ВЭС не установлена, то при отключении ПС произойдет погашение потребителей в объеме 20 МВт на несколько часов, ущерб от подобной ситуации составит 107 800 руб./ч, не считая убытков, произошедших из-за отключения РЖД. Среднее время восстановления линии электропередачи, составляет 10 ч. За это время общий ущерб от недоотпущенной электроэнергии составит 1 078 000 руб.

При модернизации ПС с использованием ВИЭ со СНЭЭ вероятность подобной ситуации снижается. Основная цель установки СНЭЭ заключается в питании инверторов ПС для ситуации отключения подстанции от единой электрической сети, так как при отключении питания инверторы также отключаются, и ветрогенераторы будут работать вхолостую.

Текущую надежность ПС 110/6 кВ примем P_1 , которая составляет 0,89958. Следовательно, вероятность перерыва электроснабжения

$$q_1 = 1 - P_1, \quad (1)$$

$$q_1 = 1 - 0,89958 = 0,10042.$$

Надежность ВЭУ на 4,5 МВА составляет $P_2 = 0,99639$. Согласно формуле (1), рассчитаем вероятность перерыва электроснабжения:

$$q_2 = 1 - 0,99639 = 0,00361.$$

Так как надежность определяется безотказностью работы, то для расчета надежности необходимо рассчитать вероятность отказа работы всех элементов:

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3, \quad (2)$$

$$q = 0,10042 \cdot 0,00361 \cdot 0,00361 = 0,00000130868.$$

Найдем показатель надежности:

$$P = 1 - 0,00000130868 = 0,99999869132.$$

В процентном соотношении повышение надежности составит

$$P_{\%} = (P - P_1) / P, \quad (3)$$

$$P_{\%} = (0,99999869132 - 0,89958) / 0,99999869132 = 10 \ %.$$

Надежность питания потребителей обеспечивается. Происходит увеличение надежности на 10 %, так как вероятность перерыва электроснабжения потребителей снизилась в 1,1 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем / В.Г. Китушин. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2003. – 256 с.
2. ГОСТ 27.001-95. Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения. – Минск, 1996.
3. Шеметов, А.Н. Надежность электроснабжения: учеб. пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / А.Н. Шеметов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 141 с.

Н.Р. Селивёрстов

Научный руководитель М.С. Иваницкий

ВЫПАРИВАНИЕ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В СХЕМАХ ВПУ ТЭС

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

С развитием технологий производства, а также с увеличением выброса отходов промышленных, хозяйственных, химических, металлургических, энергетических предприятий и других, является важной проблемой повторного использования отходов или их утилизации. Существуют определенные методы утилизации сточных вод после водоподготовительных установок тепловых электростанций, а именно термический, физико-химический, который в свою очередь подразделяется на коагуляцию и флокуляцию, сорбцию, окисление, ионный обмен, мембранное разделение, электрофизические способы, включая электролиз, и биохимический [1, 2].

Концентрирование растворов может осуществляться в испарительных, вымораживающих и кристаллогидратных установках непрерывного и периодического действия, каждый из этих способов концентрирования относится к термическому методу утилизации сточных вод.

В результате проведенного в работе анализа и сравнения методов очистки сточных вод выявлен наиболее эффективный метод очистки, а именно термический, так как его КПД, удельные затраты и другие показатели отвечают требованиям, предъявляемым к установкам утилизации сточных вод на ТЭС. Принципиальная схема трехкорпусной выпарной установки представлена на рисунке.

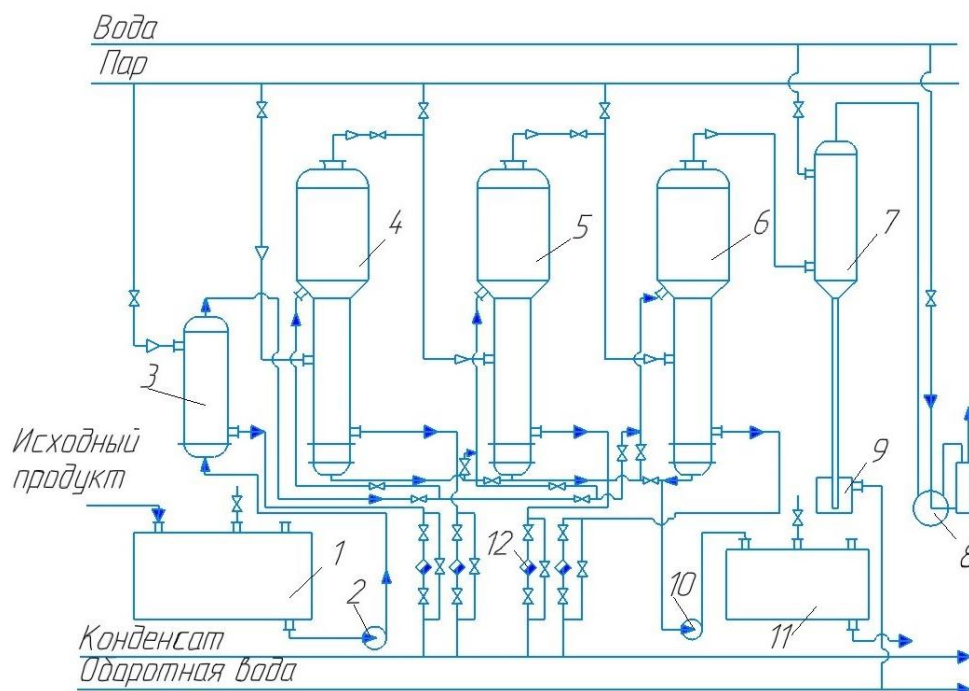


Рисунок. Схема трехкорпусной выпарной установки:

- 1 – емкость исходного раствора; 2, 10 – насосы;
- 3 – теплообменник-подогреватель; 4, 5, 6 – выпарные аппараты;
- 7 – барометрический конденсатор; 8 – вакуум-насос;
- 9 – гидрозатвор; 11 – емкость упаренного раствора;
- 12 – конденсатоотводчик

При использовании метода термической утилизации существует два направления, которые используются в зависимости от требуемого результата [3, 4].

1. Существенное уменьшение объемов стоков при их предельном концентрировании и хранение этих растворов в естественных или искусственных хранилищах. Но данное направление применимо лишь при относительно небольших количествах сточных вод и должно рассматриваться как временное.

2. Выделение из стоков солей и других ценных веществ с последующим использованием этих веществ и опресненной воды для нужд промышленности и сельского хозяйства. По данному направлению в отдельных случаях можно захоронять полученные сухие продукты или концентраты.

Таким образом, полученные результаты исследования могут быть использованы на тепловых электрических станциях в схемах водоподготовки для утилизации высококонцентрированных сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 167 с.
2. Таубман, Е.И. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод / Е.И. Таубман, З.П. Бильдер. – Л.: 1975. – 207 с.
3. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: МЭИ, 2003. – 305 с.
4. Гроздев, В.Д. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков / В.Д. Гроздев, Б.С. Ксенофонов. – М.: Химия, 1988. – 111 с.

А.А. Рыбалов, Л.В. Кадышев
Научный руководитель М.С. Иваницкий
**РЕЖИМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ
МАСЛОСИСТЕМЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭЦ**
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В настоящее время в мире существует большое количество методов для повышения эффективности очистки энергетических масел: от энергетического аудита и мониторинга до комплексных решений по модернизации маслосистемы. Таким образом, путем внедрения экономически эффективных мер возможно сократить около 35 % общих энергетических затрат. Недостатками наиболее эффективных методов очистки масел являются высокая стоимость внедрения, необходимость предварительной осушки масла, так как при наличии влаги может произойти замыкание пакета электрофильтров, и невозможность использовать при значительном загрязнении масел частицами 20–50 мкм, ведь многие частицы являются проводниками, что приведет к замыканию пакета электрофильтров. Поэтому в данной работе проведено исследование технико-экономической оценки эффективности малозатратных методов очистки энергетических масел, используемых на ТЭЦ [1, 2].

Целью работы является повышение эффективности работы маслосистемы паровой турбины путем технико-экономического обоснования малозатратных методов очистки энергетических масел.

Задачи исследования:

- 1) выполнить аналитический обзор научно-технической литературы по проблеме эффективности очистки энергетических масел;
- 2) проанализировать объект промышленного исследования – технологическую схему, функциональные узлы маслосистемы и оборудования;

3) выполнить описание технических характеристик маслосистем паровых турбин ТЭС;

4) выполнить сбор и обобщение статистических данных по технологическим параметрам маслопровода;

5) усовершенствовать гидродинамическую модель расчета центрифуги маслоочистки;

6) провести апробацию разработанной гидродинамической модели центрифуги маслоочистки на базе пассивного эксперимента;

7) выполнить обработку и анализ полученных данных;

8) провести разработку практических рекомендаций по использованию полученных результатов исследования для совершенствования работы системы маслоочистки.

Результаты исследования показывают, что полученные результаты могут быть применены на тепловых электрических станциях для обоснования затрат на регенерацию масел путем применения малозатратных методов очистки энергетических масел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко, А.В. Тепловые и атомные электростанции: справочник / под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 645 с.

2. Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – 2-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 408 с.

В.Д. Скороходов, Е.В. Илюхина
Научный руководитель М.С. Иваницкий
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТЭС
С ВОДОРОДНЫМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ
ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Развитие современной отечественной электроэнергетики сопровождается необходимостью повышения ее конкурентоспособности. При этом создание новых технологий производства тепловой и электрической энергии предполагает применение альтернативных видов топлива. Одним из таких топлив является водород. Опыт практического получения водорода показывает, что широкое распространение этого вида топлива на тепловых электрических станциях значительно затруднено ввиду его высокой взрывопожароопасности, сложности получения, хранения и транспортировки. Несмотря на проблемные вопросы, создание эффективных схемных решений, направленных на использование

водородных генераторов для выработки тепловой и электрической энергии, играет важную роль в современной тепловой энергетике [1, 2].

Разработаны тепловые схемы микрогазотурбинной установки (микро-ГТУ) с водородно-кислородным парогенератором, парогазовой установки (ПГУ) с водородно-кислородным парогенератором и промежуточным перегревом пара, паротурбинной установки (ПТУ) с водородно-кислородным парогенератором, ПТУ с водородно-кислородным парогенератором и промежуточным перегревом пара. Схема ПТУ с водородно-кислородным парогенератором и промежуточным перегревом пара и пароохладителем рассмотрена в качестве наиболее перспективного варианта для создания микрогенерационных тепловых схем электрических станций (до 100 кВт) с водородно-кислородным парогенератором.

Предложенные варианты тепловых схем установок малой мощности на основе водородного генератора могут применяться на стадии проектирования для обоснования строительства ТЭС мощностью до 100 кВт. Ключевыми показателями тепловой экономичности схемных решений являются КПД и удельный расход топлива по выработке электроэнергии. КПД может варьироваться в зависимости от климатических условий и режимов работы генератора водорода.

Предлагаемые технические решения установок микрогенерации могут быть также использованы при выборе и обосновании вариантов энергоснабжения удаленных потребителей в системах децентрализованного тепло- и электроснабжения [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Султанов, М.М. Методики и модели оценки надежности и безопасности генерирующих и энергетических систем (обзор) / М.М. Султанов, Н.В. Байдакова, Е.В. Курьянова // Новое в российской электроэнергетике. – 2022. – № 10. – С. 35–47.
2. Методика управления энергетическими предприятиями генерирующих и энергетических систем в условиях цифровой трансформации / М.М. Султанов, И.А. Болдырев, П.В. Шамигулов, Е.В. Курьянова, М.С. Иваницкий // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 8. – С. 36–47.
3. Методика оценки уровней безопасности энергоблоков ТЭС / М.М. Султанов, П.В. Шамигулов, И.А. Болдырев, Е.В. Курьянова // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 9. – С. 17–30.
4. Курьянова, Е.В. Схемно-технологические решения генерирующих комплексов распределенных энергосистем / Е.В. Курьянова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов XXIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – М., 2023. – С. 938.

А.Р. Эль Занин
Научный руководитель С.В. Борознин
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОРОУГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

Обоснованы преимущества бороуглеродных нанотрубок по сравнению с другими углеродными наноматериалами в сфере водородной энергетики. Предложены две принципиальные схемы работы БПЛА с использованием водородного топлива, адсорбированного в бороуглеродных нанотрубках: на реактивной тяге и с использованием топливного элемента с протонообменной мембраной. Проведена оценка некоторых характеристик БПЛА, сконструированного по второй схеме.

В настоящее время проблема эффективного использования возобновляемых источников энергии стоит довольно остро, что связано с постепенным сокращением запасов углеводородов, в первую очередь нефти и природного газа. Все больше внимания к себе привлекают альтернативные источники энергии, среди которых можно выделить водород – наиболее распространенный элемент во Вселенной. Примечательны его физико-химические свойства, обуславливающие его потенциал в качестве топлива: высокая теплоемкость и образование воды как продукта горения.

Тем не менее существует ряд проблем, связанных с использованием водорода в энергетике. Одна из наиболее важных – проблема безопасности: смесь водорода с воздухом взрывоопасна. В качестве решения может выступать применение для хранения материалов, в которых данный газ находится в адсорбированном состоянии. В качестве таковых рассматриваются и углеродные наноматериалы. Все вышесказанное обуславливает актуальность рассмотрения применения новых, современных углеродных наноматериалов для хранения водорода на транспорте, в рамках настоящей работы – для обеспечения работы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), сфера использования которых расширяется с каждым годом.

Целью настоящей работы является разработка БПЛА с водородным картриджом на основе бороуглеродных нанотрубок. Таким образом, были поставлены следующие задачи:

- обосновать применимость бороуглеродных нанотрубок в качестве хранилища водорода;
- рассмотреть возможные пути применения водорода для осуществления полета;
- рассчитать эксплуатационные характеристики предлагаемых для рассмотрения летательных аппаратов.

Как показывают теоретические исследования, адсорбция водорода на поверхности бороуглеродных нанотрубок более выгодна с энергетической точки

зрения, чем аналогичный процесс на поверхности обычных углеродных нанотрубок [1]. Это подтверждается экспериментальными исследованиями; сообщалось, что в бороуглеродных нанотрубках при температуре 303 К и давлении в 10 бар накапливается 0,157 % водорода по массе, при 77 К и том же давлении – 2,8 % водорода по массе [2]. Данный показатель намного выше, чем у многих беспримесных и допированных углеродных нанотрубок. При этом расчетный максимум из уравнения Ленгмюра составил 9,8 % по массе, который достигается при 77 К с увеличением давления. Таким образом, мы считаем обоснованным рассмотрение применения бороуглеродных нанотрубок в качестве потенциального материала для хранения водорода.

Далее рассмотрим возможные пути использования водорода для обеспечения полета аппарата. Здесь могут быть предложены два пути: непосредственное сжигание водорода и его электрохимическое преобразование в топливном элементе. Пример реализации БПЛА по первому принципу приведен в патенте [3]: аппарат сбрасывают с самолета и разгоняют до гиперзвуковой скорости, энергия набегающего воздушного потока идет на высвобождение и диссоциацию водорода, который далее попадает в камеру сгорания; тем самым обеспечивается реактивное движение летательного аппарата. Мы предлагаем заменить используемые в патенте углеродные нанотрубки на бороуглеродные, что повысит продолжительность полета. Второй принцип реализуется по следующей схеме: водород, заключенный в бороуглеродные нанотрубки, высвобождается и попадает в топливный элемент с протонообменной мембраной (ПОМТЭ), где в результате электрохимического процесса образуется электрический ток, поступающий далее на электродвигатель, обеспечивающий движение БПЛА. ПОМТЭ могут обеспечивать широкий диапазон мощности в пределах от 0,001 до 500 кВт [4] в зависимости от конструкции.

Проведем первичный анализ характеристик БПЛА, реализованного по второму принципу. Будем использовать двигатель Aviatest-MVVS 2.5/1120. При мощности в 0,28 кВт и предполагая, что получаемая в ходе электрохимического процесса энергия равна энергии сгорания водорода (удельная теплота сгорания водорода 120 МДж/кг), а КПД установки равен 60 %, получим, что для поддержания часа полета потребуется 14 г водорода. Масса требующихся для хранения такого количества водорода бороуглеродных нанотрубок составляет 143 г, 500 г и более 8 кг при адсорбции 9,8 %, 2,8 % и 0,157 % по массе водорода соответственно. Последний вариант, очевидно, не является целесообразным. Первые два варианта мы считаем возможными. Рассматриваемый двигатель предназначен для обеспечения полета БПЛА массой до 1,2 кг. Учитывая, что сам двигатель весит 109 г, мы можем полагать, что масса всех остальных элементов за исключением двигателя и картриджа с бороуглеродными нанотрубками составляет 934 г и 577 г для случаев 9,8 % и 2,8 % адсорбции водорода соответственно.

Таким образом, в ходе настоящей работы мы рассмотрели характеристики бороуглеродных нанотрубок, связанных с адсорбцией водорода, и обосновали

их эффективность для применения на транспорте. Были предложены схемы работы БПЛА на водороде, хранящемся в адсорбированном виде в картридже с бороуглеродными нанотрубками. Для одного варианта были оценены некоторые эксплуатационные характеристики, в частности масса некоторых элементов БПЛА и длительность полета.

Следует отметить, что применение рассмотренных летательных аппаратов может иметь преимущество при работе в условиях низких температур, поскольку нанотрубки не столь восприимчивы к влиянию этого фактора в отличие от более привычных литий-ионных аккумуляторов [5]. В связи с этим подобные БПЛА могут быть полезны при освоении Арктики, в том числе для разведки и картографии местности, что в настоящее время является крайне перспективным направлением.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема FZUU-2023-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boroznin, S.V. Adsorption of atomic hydrogen on the surface of the boron-carbon nanotubes / S.V. Boroznin et al. // Russian Journal of General Chemistry. – 2013. – V. 83. – P. 1580–1585.
2. Sawant, S.V. Effect of in-situ boron doping on hydrogen adsorption properties of carbon nanotubes / S.V. Sawant et al. // International journal of hydrogen energy. – 2019. – V. 44. – № 33. – P. 18193–18204.
3. Пат. № 2432301 С2 РФ, МПК В64С 39/02, В82В 1/00. Беспилотный летательный аппарат / Л.В. Носачев, И.В. Егоров; заявитель: Министерство промышленности и торговли РФ (Минпромторг России). № 2010101266/11; заявл. 19.01.2010; опубл. 27.10.2011
4. Филиппов, С.П. Топливные элементы и водородная энергетика / С.П. Филиппов, А.Э. Голодницкий, А.М. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – № 11 (153). – С. 28–39.
5. Gohardani, O. Potential and prospective implementation of carbon nanotubes on next generation aircraft and space vehicles: A review of current and expected applications in aerospace sciences / O. Gohardani, M.C. Elola, C. Elizetxea // Progress in Aerospace Sciences. – 2014. – V. 70. – P. 42–68.

Т.А. Асатрян, А.С. Голубева, К.С. Михайлова, Л.А. Чернобаева
Научный руководитель А.В. Афонин
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЭС
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Гидроэлектростанции являются важнейшим элементом энергетики страны. Целью ГЭС является выработка электроэнергии при помощи энергии воды, поступающей на лопасти гидротурбины, приводящие в движение ротор генератора. Композитные материалы – это вещества, состоящие из нескольких компонентов. Сочетание нескольких веществ позволяет улучшать свойства основного материала, такие как высокая прочность, легкость по массе, устойчивость

к износу и температуре и др. Композитные материалы различаются по типам: полимерные, металлические, неорганические, комбинированные. Конструктивным элементам, механизмам, узлам и агрегатам требуется регулярное или аварийное техническое обслуживание. При использовании композитных материалов появляется возможность реализовать экономически эффективные решения существующих проблем, таких как повышение срока службы и продление жизненного цикла. Они позволяют максимально сократить время простоя производства и затраты на рабочую силу, а также устранить замены изношенного оборудования [1].

Основными причинами износа оборудования на ГЭС являются эрозия и коррозия, деформация конструктивных элементов, кавитация. К повреждениям склонны водоводы, спиральные камеры, бетонные конструкции, направляющие аппараты, лопасти турбины.

Несмотря на то что перспектива использования композитных материалов высока, не стоит забывать об их недостатках:

- композитная арматура, в отличие от металлической, должна изготавливаться цельными конструкциями в связи с невозможным применением сварки;
- модуль упругости композитной арматуры ниже, чем у металлической, что приводит к хрупкости на изгиб.

Наряду с недостатками имеются следующие достоинства:

- высокая прочность на разрыв;
- удельный вес композитных материалов на 75 % меньше, чем у металлов;
- высокая химическая стойкость;
- диэлектрические свойства;
- отсутствие коррозии;
- отсутствие биообрастания [2].

Особо важно для ГЭС стойкость к коррозии и биообрастанию, поскольку данные материалы изготавливаются с осуществлением пропитки эпоксидной смолой, являющейся гидрофобным элементом.

Во многих регионах России большой проблемой является абразивный износ гидросооружений ГЭС. Композитные материалы обладают и стойкостью к абразивному износу, что положительно влияет на срок службы.

Композитным материалам присуще свойство упругости, и тогда как металлические сооружения склонны к повреждениям и деформации, сооружения из композитов могут дольше сохранять свои первоначальные характеристики и размеры [3].

Все перечисленные достоинства позволяют увеличить срок службы сооружений и сократить межремонтный период. В настоящее время на некоторых ГЭС уже реализованы несколько проектов с внедрением композитных материалов в процесс производства.

Баксанская ГЭС: использование высокопрочных углеродных волокон. Были установлены усиливающие элементы из углепластика на поверхности,

подверженные растяжению. Применение композитных материалов позволило, не изменяя габариты помещения и вес конструкции, обеспечить требуемую устойчивость к воздействию [4].

Эзминская ГЭС: использование углеродных лент FibArm. Были восстановлены параметры водоводов, необходимые для надежной и безопасной их эксплуатации. Это позволило увеличить межремонтные сроки, поскольку стенки водовода были подвержены коррозионному воздействию, а после замены возросла коррозионная стойкость и, как следствие, уменьшилась рабочая толщина стенок.

Использование композитных материалов на ГЭС позволяет, наряду с традиционными материалами, уменьшить срок межремонтных работ, вес конструкции, повысить коррозионную стойкость и облегчить эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая технология ремонта ГТС путем армирования композитными материалами / О.Д. Рубин, С.Е. Лисичкин, В.Б. Балагуров, А.В. Александров // Известия ВНИИГ. – 2016. – № 280. – С. 3–10.
2. Яценков, А.С. Использование композитных материалов в современной энергетике. Достоинства и недостатки / А.С. Яценков, А.Н. Козлов // Вестник АмГУ. – 2016. – № 73. – С. 71–73.
3. Мелёхина, М.И. Эпоксидные стеклопластики с улучшенной влаго- и водостойкостью / М.И. Мелёхина, М.С. Кавун, В.П. Ракитина // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 2. – С. 29–31.
4. Сердюк, А.И. Опыт усиления строительных конструкций композиционными материалами при реконструкции Баксанской ГЭС / А.И. Сердюк, В.Л. Чернявский // Гидротехника. – 2013. – № 3. – С. 115–117.

С.А. Кострюков

Научный руководитель Ю.В. Гусева

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ

И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

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

Разработка для отечественной электроэнергетики новых эффективных геометрических конструкций лопастей роторов ветрогенераторов Савониуса направлена на повышение эффективности использования энергии ветра с целью производства электрической энергии. В данной работе автором проведено моделирование профилей ветрогенератора, выполненных по «золотому сечению» (вариант 1) и с углом дуги ковша $68^{\circ}12'$ (вариант 2, радиус лопасти $r = 34,97$ мм), а также расчетное исследование параметров и рабочих характеристик нового профиля ветроколеса (вариант 2). Проведено сравнение рабочих характеристик с классической моделью ветрогенератора Савониуса. Моделирование рабочих процессов и характеристик выполнено с применением Ansys Fluent 22R1. В

основе решения задачи использованы уравнения Навье – Стокса, уравнения массы и энергии, их решение выполнено методом конечных разностей. Небаланс по массовым расходам модели ветроколеса соответствует 10^{-4} кг/с, по уравнению полной энергии потока ветра – 10^{-4} Дж [1–3].

Расчетные оценки показывают, что коэффициент использования энергии ветра для разработанной модели ротора ветроколеса составил 16,29 %, электрическая мощность ветрогенератора при этом равна 231 мВт. Данные параметры получены при максимальной частоте вращения ротора ветрогенератора, равной 525,4 об/мин (8,75 об/с), определенной на основе исследования экстремума функциональной параметрической зависимости. Таким образом, в результате проведенного моделирования профиля ротора Савониуса, выполненного с углом дуги ковша $68^{\circ}12'$, установлены локальные характеристики модели.

Полученные в работе расчетные значения рабочих характеристик и параметров ветрогенератора с ротором Савониуса обеспечиваются удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными [4, 5]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янсон, Р.А. Ветроустановки / Р.А. Янсон. – М., 2007. – 36 с: ил.
2. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электро-снабжения / С.К. Шерязов, С.С. Исенов, Р.М. Исаков, и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 24–33.
3. Гусева, Ю.В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю.В. Гусева, С.А. Кострюков, А.Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 83–90.
4. 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.
5. Tian, W. Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes / W. Tian, B. Song, J.H. Van Zwieten et al. // Energies. – Vol. 8. – 2015. – № 8. – P. 7915–7929.

Н.А. Сорокин

Научный руководитель В.С. Шибитов

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТУШКИ РОГОВСКОГО В СРЕДЕ SIMINTECH

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

Катушка Роговского – это катушка тороидального вида, расположенная вокруг первичного провода. Конструкция петли Роговского схожа с конструкцией трансформатора тока, но с отличием в том, что вторичная обмотка датчика намотана на воздушный сердечник. Катушка Роговского состоит из обмотки W_2 , намотанной на немагнитный сердечник с магнитной проницаемостью $\mu_0 = 1$ [1].

Катушка размещается вокруг проводника Π , по которому протекает ток I_1 , который нужно измерить.

Еще одним отличием катушки Роговского от трансформатора тока (ТТ) является выходной сигнал. У классического ТТ это ток, пропорциональный измеряемому. У катушки Роговского выходным сигналом будет напряжение, пропорциональное скорости изменения тока:

$$U_s(t) = -M \frac{dI_1}{dt},$$

где $M = \mu_0 \cdot n \cdot S$ [4]. В этой формуле M – взаимная индуктивность; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха; n – число витков обмотки; S – площадь поперечного сечения сердечника.

Катушка Роговского, рис. 1, не может выдавать мощный сигнал на выходе, который необходим для работы электромеханических реле и электромагнитов отключения выключателей, однако для работы микропроцессорных устройств защиты и автоматики он достаточен.

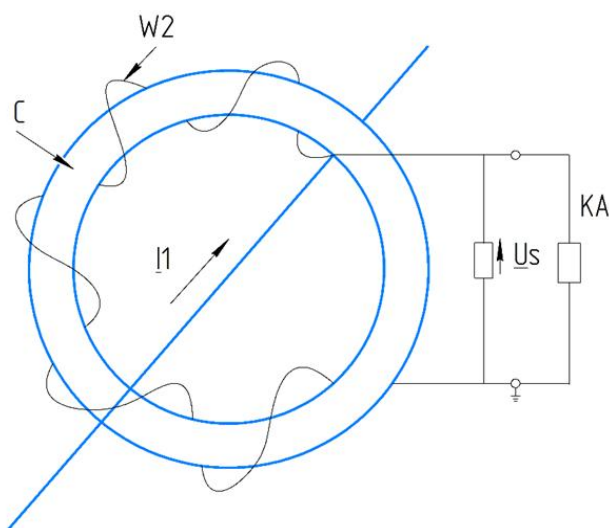


Рис. 1. Катушка Роговского

На рис. 2 изображена схема замещения катушки Роговского [1]. Смоделируем ее в среде SimInTech, рис. 3.

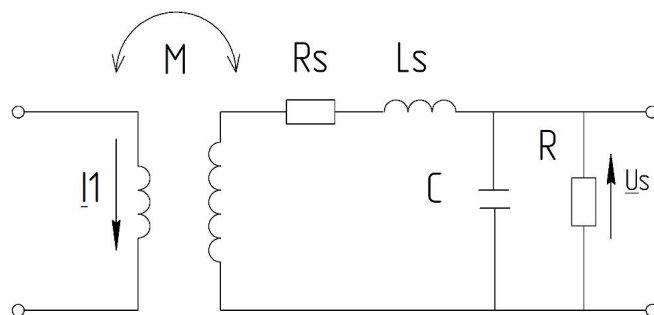


Рис. 2. Схема замещения:

R_s – активное сопротивление пояса; L_s – индуктивность;
 C_s – собственная емкость; R – активное внешнее
нагрузочное сопротивление

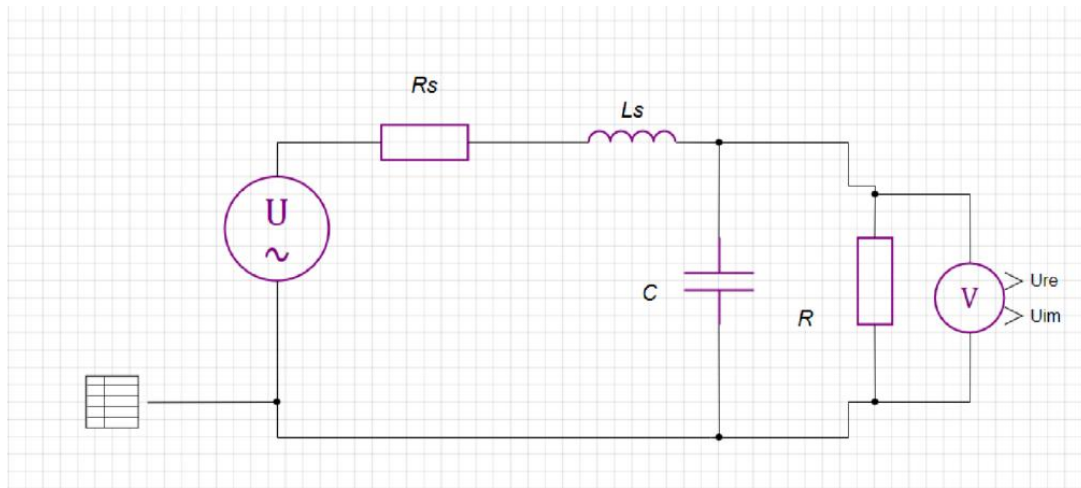


Рис. 3. Модель в SimInTech

В табл. представлены основные параметры моделируемого датчика тока. На рис. 4 представлена математическая модель катушки Роговского.

Основные параметры моделируемого датчика тока

Параметр	Значение
Сопротивление	1,1 Ом
Емкость	6 пФ
Индуктивность	72,7 нГн
Количество витков	160
Расстояние между витками	0,5 см
Диаметр провода	1 мм
Диаметр кольца	100 см

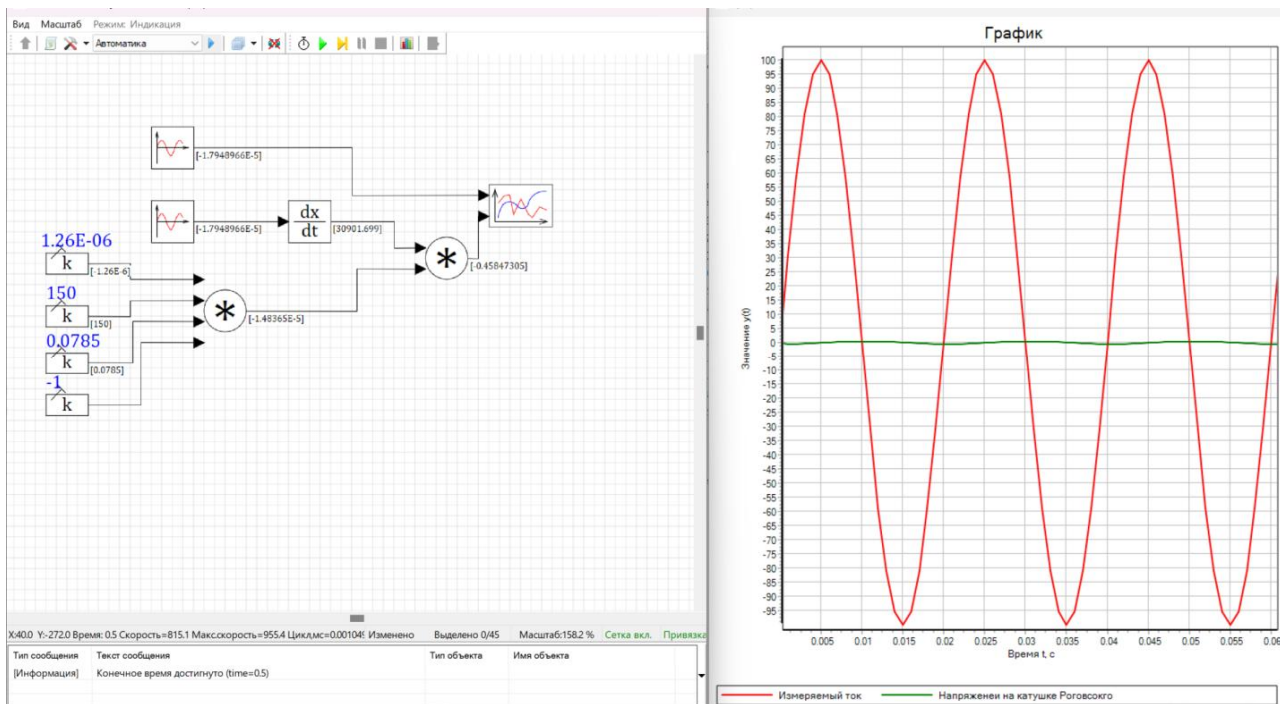


Рис. 4. Математическая модель катушки Роговского

Таким образом, имея коэффициент трансформации петли Роговского 0,05 мВ/А, даже при номинальных токах порядка 100 А, на выходе преобразователя Роговского получаем напряжение порядка 0,05 В. При коротких замыканиях (токах КЗ) мощность сигнала значительно увеличивается.

Была проделана работа по моделированию катушки Роговского, получены графики зависимости тока в проводнике и выходного сигнала датчика, смоделирована схема замещения. Петля Роговского имеет все необходимые свойства для замены традиционных трансформаторов тока в системах релейной защиты. Благодаря отсутствию магнитного сердечника она особенно привлекательна для использования в системах дифференциальной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные проблемы энергетики и экологии: материалы конференции [Электронный ресурс] / под общ. ред. Ю.А. Омельчук. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 202 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/301616> (дата обращения: 15.10.2023).

2. Минакова, Т.Е. Использование преобразователей Роговского в системах автоматики и релейной защиты электроэнергетических систем [Электронный ресурс] / Т.Е. Минакова, Ю.Н. Кузнецова // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-preobrazovateley-rogovskogo-v-sistemah-avtomatiki-i-releynoy-zaschity-elektroenergeticheskikh-sistem> (дата обращения: 15.10.2023).

3. Пиляев, С.Н. Особенности моделирования трехфазного трансформатора с насыщением в программе SimInTech / С.Н. Пиляев, Д.Н. Афоничев, И.В. Шепелев // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 25 февраля 2022 г. – Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2022. – С. 236–244.

4. Детлаф, А.А. Курс физики. Том II. Электричество и магнетизм / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский, М.Б. Милковская. – М.: Высшая школа, 1977. – 375 с.

СОДЕРЖАНИЕ

А.В. Благочиннов, А.С. Кузнецов, М.Е. Шевченко, С.В. Мезин Акустический метод диагностики подшипников паровых турбин ТЭЦ.....	3
А.С. Кузнецов, А.А. Смирнов Методы управления надежностью и безопасностью передачи данных энергетического оборудования с использованием облачных технологий и распределенных реестров.....	4
Т.А. Аввакумов, М.В. Одоевцева Ионитное умягчение концентрата установки обратного осмоса.....	5
М.В. Бабасиев, А.Е. Халаджян, А.С. Кузнецов Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и оценки состояния станций альтернативной энергетики.....	7
Ф.Е. Болдарев, С.С. Ширяйкин, М.С. Иваницкий Анализ технологических нарушений при работе паротурбинных установок ТЭЦ.....	10
А.Р. Васильев, М.С. Иваницкий Сравнительная оценка выбросов парниковых газов при сжигании топлива на газомазутной ТЭЦ.....	12
А.Р. Васильев, М.С. Иваницкий Выбор методов снижения выбросов парниковых газов в атмосферу на ТЭЦ мощностью 50 МВт.....	14
А.Р. Васильев, С.А. Кострюков, М.С. Иваницкий Технико-экономический расчет обоснования внедрения технологии утилизации выбросов парниковых газов в атмосферу на ТЭЦ мощностью 50 МВт.....	16
А.С. Голубева, К.С. Михайлова, А.Н. Добров Техническое обоснование замены масляных и воздушных выключателей на элегазовые.....	19
В.И. Гильманов, Д.Ю. Клеин, И.А. Болдырев Алгоритмы управления возобновляемыми источниками энергии.....	21
М.С. Егоров, М.Е. Шевченко, А.А. Полковников Применение LSTM Encoder-Decoder-моделей для выявления аномалий в работе энергетического оборудования.....	23
В.В. Ефимов, А.В. Стрижиченко Особенности расчета экономической плотности тока в районных электрических сетях.....	26
П.Е. Ивашкевич, С.П. Чернов, Ф.А. Иванов Подвиг советских солдат в Сталинградской битве как образец выполнения патриотического долга для студентов-энергетиков.....	28
Д.С. Колесниченко, В.Ю. Ивахнов Технократический подход в образовании: проблемы и перспективы.....	29

Е.В. Илюхина, М.С. Иваницкий Результаты расчета индекса технического состояния котельных установок ТЭС.....	31
Е.В. Курьянова, М.Е. Шевченко, М.С. Иваницкий Расчет и прогнозирование уровня безопасности и экономической эффективности объектов электро- и теплоэнергетики.....	33
Д.Ю. Клеин, В.И. Гильманов, И.А. Болдырев Модернизация САУ ветрогенераторов.....	35
С.А. Кострюков, Ю.В. Гусева Расчет параметров и рабочих характеристик ротора Савониуса.....	37
П.Д. Меньшиков, И.А. Болдырев Оценка и прогнозирование значений ресурсопределяющих параметров энергетического оборудования.....	38
О.В. Михайлова, А.С. Кузнецов, Е.Г. Зенина Принципы интеграции объектов распределенной генерации.....	39
П.А. Нечитайлов, А.В. Стрижиченко Модернизация ПС 110/6 кВ с интеграцией ВИЭ и аккумуляторов для повышения надежности электроснабжения собственных нужд подстанции и прилегающей сети 110 кВ.....	41
Н.Р. Селивёрстов, М.С. Иваницкий Выпаривание высококонцентрированных сточных вод в схемах ВПУ ТЭС....	43
А.А. Рыбалов, Л.В. Кадышев, М.С. Иваницкий Режимы и эффективность работы маслосистемы паровых турбин ТЭЦ.....	45
В.Д. Скороходов, Е.В. Илюхина, М.С. Иваницкий Технологические схемы ТЭС с водородным парогенератором для выработки электрической и тепловой энергии.....	46
А.Р. Эль Занин, С.В. Борознин Об использовании бороуглеродных нанотрубок для хранения водорода.....	48
Т.А. Асатрян, А.С. Голубева, К.С. Михайлова, Л.А. Чернобаева, А.В. Афонин Анализ возможности внедрения композитных материалов при проектировании ГЭС.....	50
С.А. Кострюков, Ю.В. Гусева Результаты оценки параметров и рабочих характеристик ветрогенераторов.....	52
Н.А. Сорокин, В.С. Шибитов Моделирование катушки Роговского в среде SimInTech.....	53

**XXVIII РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ
ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

г. Волжский
31 октября – 2 ноября 2023 г.

Тезисы докладов

Редактор *Болдырева А.П.*
Компьютерная верстка *Константиненко Н.Н.*
Корректор *Константиненко Н.Н.*

Подписано в печать 21.12.2023. Формат 60×84/16.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 3,4.
Тираж 25 экз. Заказ № 626.

Издательство филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
Отпечатано в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69