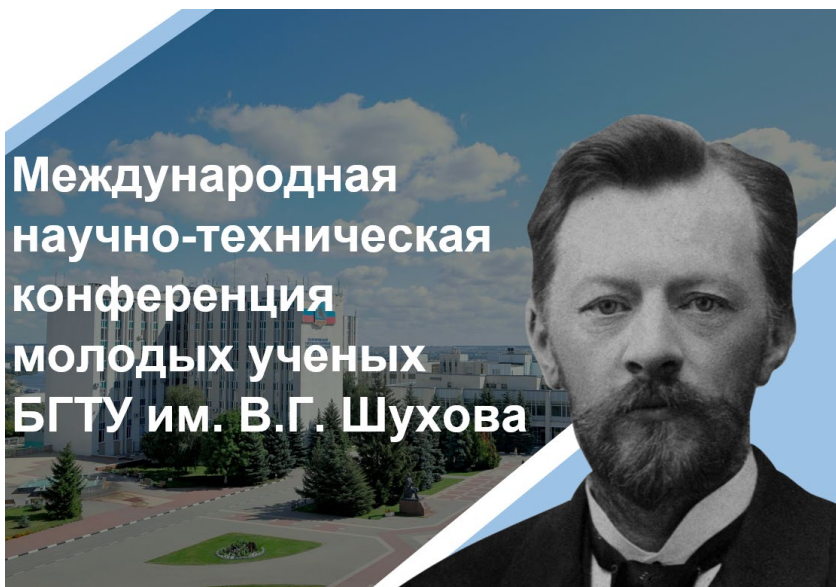


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 14

Проблемы современной электротехники и энергетики

Белгород

29-30 мая 2025 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
М 43 Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – Ч. 14. – 135 с.

ISBN 978-5-361-01461-3

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01461-3

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

Александрова К.В.

Научный руководитель: Ляпин А.И., канд. техн. наук, доц.

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, Россия

СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ СТОЯНОЧНОЙ КОРРОЗИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЕГО ОСТАНОВКЕ

Практичность и надежность систем отопления является критически важным условием их функционирования, ведь только так достигается комфорт и безопасность в зданиях, особенно в отопительный сезон. Одной из проблем вывода оборудования из строя в период длительного простоя является образование в теплоэнергетических системах стояночной коррозии, основной причиной возникновения которой является воздействие электрохимических процессов, протекающих на месте соединения металла и теплоносителя в условиях застоя [1].

Среди разнообразия факторов, влияющих на коррозионный процесс, можно выделить следующие: прерывная работа системы, наличие в теплоносителе кислорода, хлоридов, сульфатов и других агрессивных ионов, дефекты на поверхности и в структуре металла трубопровода, наличие напряжений в металле конструкционных материалов и оборудования, высокая жесткость воды, неблагоприятный температурный режим, воздействие бактерий и другие факторы.

Среди применяемых в теплоэнергетических системах методов уменьшения интенсивности стояночной коррозией можно выделить следующие: заполнение оборудования азотом для вытеснения кислорода и влаги т.е. азотирование. Для данного метода требуется герметизация контура оборудования и поддержание избыточного давления в системе. Преимуществом азотирования является эффективное удаление кислорода, что предотвращает окислительные процессы, простота и доступность оборудования. При этом имеются недостатки: требуется источник азота и система для его подачи. Необходимость строгого контроля герметичности. Риск утечек азота и снижение эффективности консервации. Применяемый метод не подходит для оборудования с материалами, которые могут реагировать с азотом при определенных условиях [2]. Примером может послужить антикоррозионное азотирование легированных и углеродистых сталей. Процесс проводят при температуре 650-700 °С в течение 10 часов. В

результате на поверхности образуется слой ϵ -фазы (твёрдый раствор на основе нитрида железа Fe_3N , имеющий гексагональную решётку) толщиной 0,01-0,03 мм, который обладает высокой стойкостью к коррозии.

Ещё одним методом является консервация оборудования сухим воздухом (осушка воздуха). Метод предполагает поддержание низкой влажности внутри оборудования путем непрерывной продувки сухим воздухом. Воздух может осушаться с помощью адсорбентов (силикагель, активированный оксид алюминия) или в холодильных установках. Для реализации данного подхода требуется герметизация контура оборудования и постоянное поддержание низкого уровня влажности. Положительным качеством метода является эффективная защита от коррозии, так как устраняется основной фактор – влага в системе. Способ подходит для большинства типов оборудования, поскольку оказывает минимальное воздействие на материалы оборудования. Недостатки – высокие первоначальные затраты на оборудование для осушки воздуха. Постоянные эксплуатационные расходы на поддержание сухого воздуха. Необходимость строгого контроля влажности и герметичности. Потенциальная сложность реализации для больших и сложных систем [3].

Выбор трубопроводов и оборудования из коррозионностойкого материала – нержавеющей стали. Для монтажа лучше выбирать тонкостенные бесшовные трубы, так как в сварочных конструкциях выше шанс утечки теплоносителя. Кроме того, места сварных соединений являются концентраторами напряжений в металле. Данный подход обеспечивает длительность эксплуатации трубопроводов и оборудования, минимизирует затраты на обслуживание и ремонт в течение всего срока эксплуатации, исключает необходимость в применении дополнительных методов защиты от коррозии. Сталь отлично выдерживает высокие температуры, до 710 °C [1]. Например, марка 12X18H10T (американский аналог – AISI 321) содержит в составе хром, титан, никель. Надежность работы такого металла не практически не зависит от состава питьевой воды при прямом контакте, поэтому трубы из стали этой марки используют для трубопроводов холодного и горячего водоснабжения.

Применение ингибиторов коррозии в водных средах, способствуют предотвращению образованию коррозии и накипи в теплоэнергетических системах, препятствуют окислению и солеотложению в рабочей среде, тем самым защищая металл от преждевременного износа. Такие решения хорошо себя зарекомендовали в системах, в которых в качестве рабочей среды

используется обессоленная вода. Ингибитор может применяться в системах, где используются как циркуляционные, так и конверторные насосы. При этом стоимость дозируемого реагента невысокая и зависит от концентрации и типа ингибитора. Недостатком является необходимость постоянного контроля концентрации ингибитора [4].

Для консервации оборудования может использоваться метод заполнения труб обессоленной водой. Для консервации оборудования метод является весьма распространенным, поскольку является простым и относительно не дорогим. Применять данный метод можно в трубах любой формы, что делает его доступным для всей системы отопления. При этом стоимость внедрения мероприятия минимальная по сравнению с другими методами борьбы с коррозией [5].

Несмотря на то, что следующий метод не является способом минимизации стояночной коррозии, но как способ защиты трубопроводов представляется интересным. Это внутренняя футеровка – нанесение на внутреннюю поверхность трубы защитного материала, такого как бетон, полимерные материалы или стеклопластик. При этом обеспечивается создание защитного барьера между транспортируемой средой и металлом трубопровода, тем самым увеличивается срок службы металла, улучшаются его гидравлические характеристики. Поменять способ можно для трубопроводов, в которых используются абразивная или агрессивная среда. Недостатком можно отнести снижение внутреннего диаметра трубы и сложность нанесения футеровки на уже смонтированные трубопроводы [5].

Создание избыточного давления пара (паровая консервация) представляет собой процесс заполнения оборудования паром, создающим избыточное давление, и поддержание его в течение периода простоя. Для реализации метода требуется герметичность контура, источник пара и своевременное удаление конденсата. Простота реализации, если есть доступ к пару, что позволяет эффективно удалять кислород. Недостаток данного метода: возможность конденсации пара и образования влаги, необходимость поддержания температуры выше точки росы для предотвращения конденсации, невозможность использования в оборудовании, чувствительных к высоким температурам [6].

Консервация растворами пленкообразующих аминов (ПФА) представляет собой заполнение оборудования раствором пленкообразующего амина. ПФА образуют защитную пленку на металлических поверхностях, предотвращая контакт металла с коррозионно-активной средой. Весьма распространенным реагентом, применяемым в теплоэнергетике является октадециламин, но и другие

реагенты данного типа действия также широко применяются на практике. Для реализации метода необходимо выбрать подходящий тип ПФА для конкретных материалов и условий. Требуется предварительная очистка поверхности оборудования. Метод прост в применении, относительно низкая стоимость, эффективная защита от коррозии, особенно в щелевых зазорах. Отрицательной чертой является необходимость удаления раствора ПФА перед пуском оборудования, возможные ограничения по совместимости с некоторыми материалами, необходимость контроля концентрации ПФА и pH раствора, потенциальное загрязнение окружающей среды при сливе раствора (требуется утилизация) [6].

Для защиты основного и вспомогательного оборудования теплоэнергетических установок, паросилового оборудования энергообъектов, трубопроводов от преждевременных поломок и износа, необходимо применять комплекс мер по снижению и предотвращению коррозии, в том числе при условиях кратковременного останова, длительного простоя и его консервации. Выбор методов защиты от коррозии зависит от конкретных условий эксплуатации каждой теплоэнергетической системы. Необходимо проводить тщательный анализ и подбирать меры индивидуально. Сотрудники КГЭУ накопили большой опыт прикладных научно-исследовательских работ по организации водно-химических и водно-режимных мероприятий на отечественных промышленных предприятиях и тепловых электростанциях с целью минимизации негативных физико-химических процессов, протекающих в теплообменном оборудовании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анциферов С. А., Усманова Е. А. Анализ влияния внутренней коррозии на эксплуатацию трубопроводов // Вестник НГИЭИ. 2015. №6 (49). URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 22.03.2025).
2. Долгих С.А., Крупин С.В., Мухаматдинов И.И., Кутлин Т.О. Методы борьбы с коррозией нефтепромыслового оборудования / С.А. Долгих. – Казань: Казан. ун-т, 2020. – 113 с.
3. Мустафин Ф.М., Кузнецов М.в., Быков Л.И. Защита от коррозии. Т. 1. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. - 806 с.
4. Помазан, О. К. Коррозия - враг металла. О вреде коррозии, ее видах, способах борьбы / О.К. Помазан, Ю.Н. Попов, В.В. Симонов. - М.: Донбасс, 2018. - 126 с. 16.
5. Розенфельд, И. Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн,

К.А. Жигалова. - М.: Химия, 1998. - 224 с. 17. Розенфельд, И. Н. Коррозия и защита металлов / И.Н. Розенфельд. - Москва: Мир, 2012. - 446 с.

6. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М., 2006. - 306 с.

УДК 004.8

Бабинцева Д.А., Ермуканова К.Ю.

Научный руководитель: Крутова Н.А., канд. экон. наук, доц.

Самарский государственный технический университет,

г. Самара, Россия

ВЫЗОВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР

В условиях современной глобальной трансформации имеет место внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта во все сферы экономики. Не исключением стала и энергетическая отрасль. Искусственный интеллект способствует не только оптимизации операций в энергетических компаниях, но и позволяет снизить себестоимость, тем самым повышая их конкурентоспособность. Однако, как и любая отрасль, энергетика сталкивается с рядом вызовов при внедрении искусственного интеллекта.

Целью данной статьи является проведение анализа перспектив для внедрения искусственного интеллекта в энергетическую отрасль, а также выявление преимуществ и рисков проявляющихся тенденций.

Внедрение искусственного интеллекта в энергетический сектор - это сложный процесс, содержащий в себе вызовы и риски, с которыми сталкиваются предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Представим основные из них на рисунке 1.

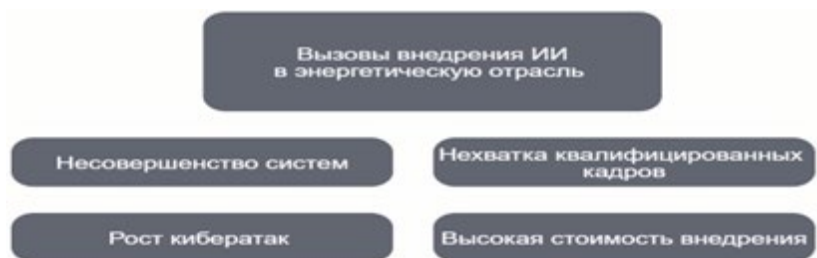


Рис. 1 - Вызовы, возникающие в ходе внедрения искусственного интеллекта в энергетический сектор [составлено авторами].

На современном этапе внедрение искусственного интеллекта в деятельность предприятий энергетики имеет высокую стоимость. Вместе с тем присутствует техническая несовместимость с возможностью использования искусственного интеллекта.

Однако несмотря на это в последние годы имеет место положительная динамика внедрения искусственного интеллекта (ИИ) в развитие компаний энергетической отрасли (рис. 2).

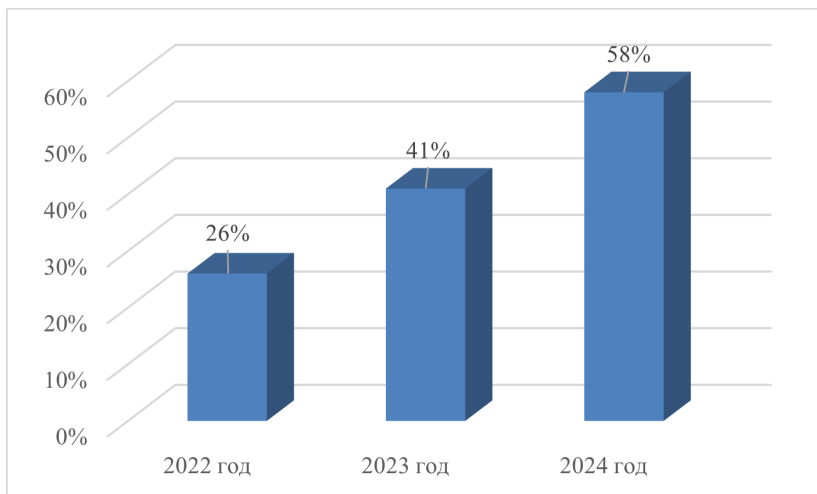


Рис. 2 – Динамика доли компаний ТЭК, использующих ИИ [1]

В настоящее время наблюдается рост кибератак, что создает вызовы в процессе внедрения в функционирование компаний энергетической отрасли искусственного интеллекта. При кибератаках искусственный интеллект способен отключить подстанции, а также

неверно рассчитывать уровень нагрузки.

Кроме того, основными вызовами при внедрении искусственного интеллекта в энергетический сектор являются: отсутствие определенной системы зон ответственности разработчиков и специалистов по эксплуатации и решению внедрения искусственного интеллекта, высокая стоимость и износ оборудования, неритмичность работы, а также малый арсенал набора общего доступа данных для обучения моделей.

По данным, представленным институтом статистических исследований и экономики знаний НИУ “ВШЭ” спрос на передовые цифровые технологии в энергетике за 2020 год составил 30,7 млрд руб., а к 2030 году он повысится до 413,8 млрд руб., доля же искусственного интеллекта и нейротехнологий составит 31% (130 млрд руб.) [2]. Несмотря на вызовы, с которыми сталкивается энергетика, стоит отметить тот факт, что применение искусственного интеллекта в данной отрасли показывает положительные результаты.

Задача искусственного интеллекта в энергетической отрасли заключается в применении сложных алгоритмических вычислений для обеспечения оптимизированного производства, потребления и контроля за электроэнергией. Основной причиной необходимости применения искусственного интеллекта в энергетике является повышение операционной эффективности и утечка квалифицированных кадров из отрасли.

Представив вызовы, препятствующие внедрению искусственного интеллекта в энергетику, стоит также выделить преимущества и возможности расширения масштабов его внедрения.

Преимуществами внедрения ИИ в энергетику являются:

1. Мониторинг. Обследование линий и оборудования, выявление ошибок в распределении и потреблении электроэнергии.
2. Повышение эффективности бизнес-процессов.
3. Взаимодействие с потребителями. Разделение по видам и диспетчеризация обращений.
4. Развитие электроэнергетического комплекса. Проектирование на основе автоматизации.

Для увеличения масштабов внедрения ИИ в работу предприятий электроэнергетики необходимо прежде всего модернизировать инфраструктуру, обучить персонал работе с новыми технологиями и обеспечить безопасность.

Опираясь на распоряжение Правительства РФ от 12.03.2024 года “Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса до 2030 года” [3]

можно выделить перспективные направления и возможности, связанные с использованием искусственного интеллекта в ТЭК (таблица 1).

- осуществление цифровой трансформации ТЭК на основе отечественных информационно-коммуникационных технологий, в том числе отечественных “сквозных” цифровых технологий и ИИ;

- обеспечение развития отраслевых образовательных программ в области ИТ (в т.ч. ИИ), применяемых в ТЭК, включая апробирование новых механизмов практического обучения;

- обеспечение условий развития сервисов облачных вычислений;

- переход отрасли к управлению на основе качественных, актуальных и достоверных данных;

- развитие стандартизации в области ИТ (в т.ч. ИИ) в ТЭК;

- формирование цифровой экосистемы для целей оптимизации процессов сбора, обработки и использования производственных и технологических данных.

Таким образом, искусственный интеллект значительно помогает оптимизировать работу на предприятиях в энергетической отрасли. Несмотря на обозначенные вызовы, внедрение ИИ способно создать единую модель энергосистемы, прогнозировать спрос и предложение для оптимизации совместной работы электростанций и возобновляемых источников электроэнергии в единой сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минэнерго: энергокомпании РФ реализуют более 300 проектов с использованием ИИ [Электронный ресурс] - URL: <https://tass.ru> (дата обращения 24.05.2025)

2. Абдрахманова Г. И. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др.; рук. авт. кол. П. Б. Рудник; науч. ред. Л. М. Гохберг, П. Б. Рудник, К. О. Вишневский, Т. С. Зинина // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики — 2021. — ISBN 978-5-7598-2510-4—239, [1] с.

3. Распоряжение Правительства РФ от 12.03.2024 № 581 - р “Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса до 2030 года” URL: <https://www.garant.ru> (дата обращения 24.05.2025)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Асинхронные электродвигатели (АД) являются одним из наиболее распространенных типов электродвигателей, применяемых в различных отраслях промышленности. Качество изоляции обмоток АД напрямую влияет на надежность и безопасность работы всего оборудования.

Повреждение защитной оболочки может вызвать короткое замыкание, перегрев, поломку двигателя и даже возгорание. Поэтому обеспечение надежности защитной оболочки является основополагающей задачей для обеспечения долговечности и бесперебойной работы асинхронного двигателя.

Была выявлено, что на уменьшение надежности изоляции в процессе эксплуатации влияют следующие факторы.

С возрастом физические свойства изоляционных материалов ухудшаются. Уменьшение электрической прочности происходит за счет уменьшения сопротивления изоляции, что увеличивает вероятность пробоя. Повышение механической хрупкости может привести к увеличению вероятности появления трещин и разрывов в изоляции под воздействием вибрации и ударных нагрузок. Увеличение влагопоглощения, проникновение влаги уменьшает электрическую прочность и повышает вероятность возникновения коррозии. Превышение номинального тока двигателя может привести к его перегреву и ухудшению изоляции. Недостаточная циркуляция воздуха в моторе может вызвать его перегрев. Под воздействием повышенных температур окружающей среды происходит ускорение процесса старения изоляции при работе в условиях высокой температуры. Кислоты и щелочи могут разрушать изоляцию и уменьшать ее электрическую прочность. Топливо и масла способны разрушать изоляционные материалы, что повышает вероятность возникновения короткого замыкания. Вибрации, удары и трение. Вибрация может вызвать усталостные трещины в изоляции, что увеличивает вероятность ее пробоя. При ударе возможно нарушение изоляции и возникновение короткого замыкания. Проникновение влаги, пыли и грязи. Повышение

уровня влажности уменьшает электрическую изоляцию и увеличивает вероятность возникновения коррозии. Пыль и грязь, скапливающиеся на изоляции, образуют грязные налеты, которые ухудшают ее теплопроводность и электрическую изоляцию.

Рассмотрим мероприятия, обеспечивающие увеличение срока службы электродвигателя, с сохранением надежности электрооборудования:

- использование материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, обладающими устойчивостью к внешним атмосферным воздействиям (температура, агрессивные газы, влажность);

- соблюдение стандартов и технических требований, при эксплуатации и обслуживании электродвигателя;

- бережное использование технических средств, во избежание перегрузок оборудования, которые могут привести к его износу;

- использование разрушающих и неразрушающих методов диагностики, для оценки состояния изоляции электродвигателя;

- проведение мероприятий, предотвращающих повреждение и продлевающих срок службы электродвигателя. К таким мероприятиям относится пропитка изоляции специальными средствами, улучшающими ее диэлектрические, механические и химические свойства. Данное мероприятие проводится с целью предотвращения попадания влаги, пыли и прочих агрессивных веществ, присутствующих в окружающей среде, впоследствии приводящих к их разрушению.

Также целесообразно следовать практическим рекомендациям по обеспечению надежности изоляции:

- 1) Выбор двигателя с учетом условий эксплуатации, нагрузок на оборудование и необходимого качества изоляции.

- 2) Соблюдение температурного режима в помещениях, где используется оборудование, которое предотвратит перегрев оборудования. Данное мероприятие может обеспечить установка датчиков температуры, обеспечивающих контроль рабочей температуры двигателя.

- 3) Своевременная и постоянная проверка состояния изоляции, используя различные методы, учет результатов в журнал.

- 4) Своевременное техническое обслуживание двигателя, с периодичностью, соответствующей рекомендациям производителя.

- 5) Обеспечение необходимых условий эксплуатации оборудования.

6) Установка защитного оборудования, например защитных кожухов, для защиты оборудования от попадания влаги, пыли и прочих разрушающих веществ.

Таким образом, очевидно, что обеспечение бесперебойности работы изоляции зависит от осуществления регулярной проверки состояния изоляции; применения современных технологий повышения надежности изоляции; соблюдения рекомендаций производителя по эксплуатации и техническому обслуживанию двигателей; использование двигателей с повышенной устойчивостью изоляции к температурным и химическим воздействиям; осуществление своевременной пропитки обмоток специальными компонентами.

Эксплуатационная надежность изоляции обмоток асинхронных электродвигателей является ключевым фактором для обеспечения бесперебойной работы производственного оборудования, поэтому крайне важно соблюдение этих мероприятий. Применение комплекса профилактических мер и современных технологий позволяет значительно повысить надежность изоляции и снизить риск преждевременного выхода из строя двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексный мониторинг технического состояния промышленных электродвигателей. — URL: <https://test-energy.ru> (Дата обращения 5.5.25)

2. Методы диагностики неисправностей электродвигателей. Ремонт и эксплуатация электродвигателей. — URL: <https://eti.su> (Дата обращения 5.5.25)

3. Седунин, А.М. методы и проблемы вибродиагностики асинхронных двигателей [Текст] / А.М. Седунин, Д.О. Афанасьев, Л.Г. Сидельников. // Пермский государственный технический университет. – 2018. – С. 20.

Боцман Д.С.

*Научный руководитель: Дуганова Е.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Формирование рынка электроэнергии возможно лишь при наличии значительного опыта работы и развитых энергетических систем, а также потребности в новых либеральных формах торговли. [1]

Рынок электрических сетей в Российской Федерации представлен как государственными корпорациями (федеральные сети), так и частными участниками.

До 2022 года на уровне федеральных сетей этот рынок включал две компании: ПАО «Россети» и его дочерние организации, занимающиеся распределением электроэнергии, а также ПАО «ФСК ЕЭС», управляющее магистральными сетями. [2]



Рис. 1 - Электросетевые компании РФ

В 2022 году, в ходе реорганизации ПАО «ФСК ЕЭС» через присоединение к нему ПАО «Россети», была образована новая компания — ПАО «ФСК Россети». Она взяла на себя управление Единой национальной электрической сетью (ЕНЭС) и распределительным сетевым комплексом. В состав этой компании вошли такие организации, как АО «ДВЭУК – ЕНЭС», ОАО «Томские магистральные сети» и АО «Кубанские магистральные сети».

С 1 сентября 2024 года вступил в силу закон о системообразующих электросетевых организациях в регионах. Согласно этому закону, статус региональной системообразующей электросетевой организации будет присваиваться крупнейшей территориальной сетевой компании (ТСО) в каждом регионе. Это приведет к дальнейшей консолидации рынка и сокращению числа небольших частных сетей.

По состоянию на 2023 год, в стране насчитывалось 1 291 ТСО, и к 2025 году запланировано сократить их количество до 400. [3]

Крупнейшими представителями сбытового сектора являются ПАО «ИнтерРАО» (включая АО «Петербургская сбытовая компания» и АО «Мосэнергосбыт»), ОАО «ЭнергосбыТ Плюс», ООО «Иркутскэнергосбыт» (рис.2).



Рис. 2 - Крупнейшие игроки сектора

Экономическая основа электроэнергетической отрасли строится на взаимосвязях участников рынка, которые формируются в процессе производства, передачи, оперативно-диспетчерского контроля, а также в ходе реализации и потребления электрической энергии и мощности как на оптовом, так и на розничном рынках.

Несмотря на значительные изменения, произошедшие в сфере электроэнергетики за последние тридцать лет, в российской энергетике продолжают существовать определённые проблемы. Технологические сложности, известные уже долгое время, разрешаются не так быстро, как хотелось бы.

Технологические проблемы, давно известные специалистам, решаются не настолько оперативно, как хотелось бы. Уровень износа генеративных мощностей достигает примерно 70%. Оборудование на отечественных тепловых, гидроэлектрических и атомных станциях уже устарело, а его средний возраст составляет 30, 35 и 25 лет соответственно. Из-за этой технической устарелости наблюдаются значительные потери электроэнергии, которые составляют около 16–17% от общего производства. [4] Существенный износ оборудования приводит к частым аварийным ситуациям, создаёт риск техногенных катастроф и ставит под угрозу стабильность энергоснабжения целых регионов страны.

Чтобы решить проблему изношенности оборудования на российских тепловых электростанциях, необходимо осуществить модернизацию энергетического сектора, включая привлечение государственного капитала. Тем не менее, даже с учётом значительного

роста возобновляемых источников энергии, к 2035 году традиционная и устаревшая тепловая генерация будет всё ещё составлять более 60% всей установленной мощности энергосистемы России. Разработанная программа модернизации электроэнергетики не предполагает значительных изменений в действующем балансе электростанций в стране на период ближайших 10-15 лет.

Каждый год в российскую электроэнергетику вливается примерно 500 миллиардов рублей, причем большая часть этих средств поступает от государственных предприятий. Например, компания «Россети» выделяет свыше 200 миллиардов рублей на модернизацию и строительство электросетей, в то время как «Росатом» инвестирует порядка 160 миллиардов рублей. Теплогенерирующие компании также вносят ощутимый вклад, направляя около 100 миллиардов рублей ежегодно на поддержание и развитие своих мощностей. Недостаток крупных инвестиций со стороны ведущих игроков энергетического сектора в значительной степени обусловлен высокой монополизацией экономики и особенностями регулирования тарифов. Хотя главной задачей энергореформы было формирование конкурентоспособной среды в этой области, компании, возникшие после реструктуризации «РАО ЕЭС России», фактически оказались в условиях, напоминающих рынок с монопольными элементами. В этой связи требуется предпринять шаги для привлечения частных инвестиций, которые смогут содействовать обновлению оборудования, запуску новых мощностей и общему развитию сектора.

Одной из значительных проблем в производстве электроэнергии является его воздействие на окружающую среду. Тепловые электростанции представляют собой основных загрязнителей, поскольку они выбрасывают в атмосферу продукты сгорания, что способствует тепловому загрязнению воздуха и загрязнению водных объектов из-за сброса сточных вод. В результате сжигания топлива происходит изменение состава атмосферы. Гидросфера также страдает от воздействия энергетических предприятий, как прямым образом, так и через выпадение загрязненных осадков из атмосферы. Состав этих осадков во многом схож с атмосферными выбросами. В сточных водах, попадающих в поверхностные и подземные водоемы, содержатся различные взвешенные вещества, нефтепродукты, соли (включая хлориды и сульфаты), а также соли тяжелых металлов. Отходы требуют безопасного и долгосрочного хранения, что представляет собой серьезную экологическую проблему. Золы и шлаки, образующиеся при сжигании угля, могут содержать тяжелые металлы и токсичные

вещества, которые, если не хранить должным образом, загрязняют почву и грунтовые воды. [5]

Неравномерное распределение энергетических ресурсов продолжает оставаться одной из главных проблем в области электротехники и энергетического сектора. Это приводит к тому, что в одних регионах наблюдается избыток электроэнергии, тогда как в других ее не хватает, что, в свою очередь, тормозит экономические процессы. Согласно данным на 2024 год, примерно 20–25 стран владеют более 5% мировых запасов определенных энергетических ресурсов и минерального сырья. При этом большая часть ресурсов сосредоточена в руках нескольких государств, таких как Австрия, Южноафриканская Республика, Китай, Канада, США и Россия. Неравномерное распределение ресурсов создает трудности для стран, которые не могут самостоятельно добывать сырье и минеральные ресурсы. Эти государства обязаны приобретать энергетические ресурсы у более обеспеченных партнеров, чтобы поддерживать функционирование своих экономик. Для устранения проблемы неравномерного распределения ресурсов в энергетической области предлагается развивать возобновляемые источники энергии, улучшать энергоэффективность во всех секторах экономики, а также разрабатывать и внедрять технологии накопления энергии.

Увеличение спроса на электроэнергию становится серьезной проблемой для энергетического сектора. В глобальном масштабе наблюдается резкий рост ее потребления: по прогнозам, к концу текущего года мировой спрос может увеличиться на 4%, что станет максимальным уровнем за последние годы. [6] К основным факторам, способствующим этому росту, относятся аномальная жара, расширение дата-центров и процесс электрификации различных отраслей экономики. Особенно заметно увеличение потребления наблюдается в разных странах и регионах. Ключевыми причинами такого роста являются расширение сектора услуг, развитие сетей 5G и рост энергоемкой промышленности, включая производство солнечных панелей, электромобилей, аккумуляторов и их компонентов.

В 2024 году в России отмечается значительный рост потребления электроэнергии. По информации Минэнерго на 15 июля 2024 года, спрос увеличился на 4,2% с начала года. «Системный оператор» энергетической системы ранее сообщал, что в течение 21 дня июля аномально высокие температуры способствовали росту потребления на 7,3% по сравнению с предыдущим годом. В связи с аномальной жарой как население, так и бизнес стали активнее использовать кондиционеры, что создало дополнительное давление на энергетическую систему.

Возросший спрос и частые сбои на тепловых электростанциях южного региона привели к нехватке энергетических мощностей. В результате диспетчерам пришлось отключать некоторых клиентов от электроснабжения. Чтобы справиться с проблемой высокого спроса на электроэнергию, можно использовать механизмы управления спросом, которые помогут снизить расходы потребителей и повысить эффективность обеспечения энергией.

В соответствии с Энергетической стратегией на период до 2035 года, ключевым направлением развития является улучшение надежности и качества энергетического снабжения для клиентов, с целью достижения показателей, сопоставимых с ведущими международными стандартами. Для достижения этой цели требуется поддерживать установленную мощность электростанций на уровне 254 ГВт до 2024 года, а к 2035 году она должна колебаться в пределах 251–264 ГВт. Чтобы обеспечить достижение этих целей, следует принять ряд мероприятий: совершенствовать систему планирования, оптимизировать структуру генерирующих мощностей с учетом их технико-экономических показателей, переходить на когенерацию, снижать избытки мощности в Единой энергетической системе России, формировать рынок систем хранения электрической энергии, а также ликвидировать перекрестное субсидирование и другие элементы, требующие внимания. [7]

Одним из ключевых направлений является развитие распределенной энергетики. В контексте децентрализованного энергоснабжения необходимо сосредоточиться на усилении малой энергетики, с целью повышения эффективности и производительности местных ресурсов. В нашей стране в настоящее время функционирует около 50 тысяч локальных электростанций общей мощностью 18 миллионов киловатт, которые производят до 55 миллиардов киловатт-часов энергии и потребляют примерно 18 миллионов тонн топлива ежегодно. Более активное внедрение малой энергетики в частных домах пригородов и удаленных районов позволит обеспечить местное население теплом и электричеством, а также создаст возможности для автономного энергоснабжения. Это, в свою очередь, поспособствует созданию новых рабочих мест и развитию «умных» домов, что потенциально приведет к снижению уровня потребления электроэнергии. [8]

Одним из актуальных направлений для электроэнергетического сектора России является реализация технологии умных сетей – SmartGrid. Эта технология будет способствовать улучшению качества, надежности и эффективности энергосбережения для потребителей

через модернизацию электрических сетей Единой энергетической системы России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максимов, Б.К. Организация работы электроэнергетических систем на рынке электроэнергии: учебное пособие / Б.К. Максимов, В.В. Молодую. // М.: Издательство МЭИ. - 2016. — 56 с.

2. Отчет о функционировании энергосистемы России в 2024 году (на основе оперативных данных) / [Электронный ресурс] // www.so-ups.ru: [сайт]. — URL: <https://www.so-ups.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

3. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году/ [Электронный ресурс] // www.so-ups.ru: [сайт]. — URL: <https://www.so-ups.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

4. Кейлин, И.А. Рынок электроэнергетики в России: особенности формирования, текущая оценка и перспективы развития // Образование и право. 2021. №4. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

5. Устинова, Л. Н. Энергетический сектор России: экономический аспект [Текст] / Л. Н. Устинова, Р. М. Сиразетдинов, Э. Р. Сиразетдинова, Д. А. Устинов // Экономика, предпринимательство и право. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 401-412.

6. На пути к 2050. Энергостратегия России и как на ней заработать инвестору / [Электронный ресурс] // www.finam.ru : [сайт]. — URL: <https://www.finam.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

7. Мир просит энергии / Почему глобальное потребление электроэнергии бьет рекорды 2024) / [Электронный ресурс] // www.kommersant.ru : [сайт]. — URL: <https://www.kommersant.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

8. Линдер, Н. В. Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы / Н.В. Линдер, А. Л. Лисовский // Стратегии бизнеса. 2017. №1. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

9. Корнеев, В. Т. Инженерные специализированные классы Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова / В. Т. Корнеев // Роль и место инженерных знаний в структуре общего образования : Сборник статей V межрегиональной очно-заочной научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 30 марта 2017 года / Под редакцией А.Г. Козловой, Л.В. Крайновой, В.Л. Расковалова, В.Г. Денисовой. – Санкт-

Петербург: Частное образовательное учреждение дополнительного образования "Лингвистический Центр "Тайкун", 2017. – С. 94-99. – EDN YMOQGH – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 21.05.2025).

10. Амосов, Н. Т. Определение сроков проведения текущих ремонтов оборудования ТЭС / Н. Т. Амосов, М. В. Маркина // Энергетические системы. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова – 2024. – № 1. – С. 10-14.

11. Дорошенко, Ю. А. Переработка природных газов - важнейшее направление экономического развития России / Ю. А. Дорошенко, К. Ю. Ковалевская // Белгородский экономический вестник. – 2023. – № 3(111). – С. 29-35. – EDN QOCUQX.

УДК 614.8

Володина А.В., Афанаскина А.Н., Иванушкин С.А.
Научный руководитель: Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ДОЗИМЕТРИЯ В ЗОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС), таких как аварии на атомных электростанциях, ядерные испытания или применение радиологического оружия, дозиметрия играет ключевую роль в обеспечении безопасности людей и ликвидации последствий. Экстремальные условия требуют особых подходов к измерению ионизирующих излучений, оперативной обработке данных и принятию решений.

Особенности дозиметрии в ЧС:

- высокий уровень радиации – в зоне аварии возможны дозы, превышающие предельно допустимые в сотни или тысячи раз;
- динамическая обстановка – уровни излучения могут быстро меняться из-за распространения радиоактивных веществ;
- ограниченные ресурсы – не всегда доступны стационарные лаборатории или высокоточные приборы;
- массовость измерений – требуется контроль большого количества людей, техники и территорий [1,2].

Во время ЧС можно разделить все дозиметрические операции на 3 группы: индивидуальная дозиметрия, экспресс-контроль окружающей среды, спектрометрический анализ.

Индивидуальная дозиметрия применяется для оценки полученной дозы у персонала, ликвидаторов и пострадавших. Ее задачей является измерение и регистрация дозы ионизирующего излучения, полученной конкретным человеком (спасателем, ликвидатором, медицинским работником или гражданским лицом). В условиях аварий на радиационно опасных объектах, ядерных инцидентов или применения радиологического оружия точный и оперативный контроль индивидуальных доз критически важен для предотвращения переоблучения и своевременного оказания медицинской помощи.

Экспресс-контроль окружающей среды представляет собой комплекс оперативных измерений, направленных на: выявление зон радиоактивного загрязнения, определение мощности дозы излучения, идентификацию радионуклидного состава и оценку динамики изменения радиационной обстановки. Особую важность такие измерения приобретают в первые часы после аварии, когда необходимо быстро принять решения об эвакуации, установлении зон отчуждения и организации защитных мероприятий.

Спектрометрический анализ позволяет определить тип радионуклидов в исследуемой среде (^{137}Cs , ^{131}I , ^{90}Sr и др.), что важно для оценки рисков и планирования защитных мер. Таким образом, радиационная спектрометрия в условиях ЧС позволяет: оперативно идентифицировать радионуклидный состав, точно определять удельную активность проб, прогнозировать радиологические последствия

Дозиметрия в экстремальных условиях требует гибких и надежных решений. Современные технологии, включая мобильные комплексы и автоматизированные системы, позволяют минимизировать риски и эффективно управлять радиационной обстановкой в ЧС. При этом технологии в сфере защиты людей от радиации в ЧС не стоят на месте, создаётся множество средств индивидуальной и коллективной защиты, проектируются новейшие дозиметры и системы мониторинга, рассматриваются возможности применения нейросетей и беспилотных аппаратов, а также разрабатываются различные радиационно-защитные материалы, применяемые для защиты от различных видов ионизирующих излучений [3-22]. Но всегда важнейшими задачами остаются оперативность, точность и доступность средств контроля для всех участников ликвидации последствий, а также обеспечение защиты населения и территорий от заражения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) : СанПиН 2.6.1.2612-10. – М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : СанПиН 2.6.1. 2523-09. – М. : Федер. центр гигиены и эпидемиол. Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
3. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.
4. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.
5. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.
6. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.
7. Matyukhin P.V Inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.
8. Композиционный материал для радиационной защиты: пат. 2470395 Рос. Федерация № 2010152157/07; заявл. 20.12.2010; опубл. 20.12.2012
9. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В.

Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород: сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

10. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

11. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

12. Матюхин, П. В., Бабенко, И. К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П. В. Матюхин, И. К. Бабенко [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.

13. Ястребинский, Р. Н., Соколенко, И. В., Иваницкий, Д. А., Матюхин, П. В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

14. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

15. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

16. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

17. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлкомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

18. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.

19. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

20. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. Использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12. 0,2620203054

21. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod:Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

22. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

УДК 620.9

Габитов Б.Ф.

*Научный руководитель: Галиев И.Ф., канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ В СТРАНЕ

Энергобезопасность — один из ключевых элементов национальной безопасности, обеспечивающий стабильность

экономики, социальной сферы и обороноспособности государства. В условиях роста глобального спроса на энергоресурсы, климатических изменений и геополитической нестабильности страны всё чаще рассматривают энергосбережение и энергоэффективность как стратегические инструменты достижения энергетической независимости. Эти концепции не только сокращают потребление ресурсов, но и формируют устойчивую модель развития, минимизирующую риски кризисов [1].

Энергосбережение подразумевает снижение объёмов потребления энергии за счёт изменения поведения (например, отключение приборов в режиме ожидания) или оптимизации процессов (сокращение потерь в сетях). Энергоэффективность — это технологический подход, позволяющий получать больше полезной работы из каждого киловатт-часа. Например, замена ламп накаливания на светодиодные снижает энергопотребление при том же уровне освещения. Оба направления взаимосвязаны: энергоэффективность создаёт техническую базу для энергосбережения, а энергосбережение стимулирует спрос на инновации [2].

Традиционно энергобезопасность ассоциировалась с доступностью ископаемых ресурсов (нефть, газ, уголь). Однако их истощаемость, волатильность цен и экологические последствия сжигания заставили пересмотреть подход. Страны, зависящие от импорта энергии, особенно уязвимы. Так, в ЕС после кризиса 2022 года доля ВИЭ в энергобалансе выросла до 40%, что снизило зависимость от внешних поставок. Внедрение энергоэффективных технологий в промышленности и ЖКХ позволило Германии сократить энергопотребление на 20% за 2000–2020 гг., несмотря на рост ВВП [3].

На промышленность приходится 37% мирового энергопотребления. Здесь потенциал энергосбережения огромен. Например, переход на частотно-регулируемые электроприводы в насосных системах снижает расход энергии на 30–50%. В металлургии рекуперация тепла от печей для выработки электроэнергии позволяет предприятиям экономить до 15% затрат. В Китае внедрение стандартов ISO 50001 (системы управления энергопотреблением) на заводах сократило выбросы CO₂ на 250 млн тонн к 2023 году.

Транспортный сектор ответственен за 24% выбросов парниковых газов. Переход на электромобили — лишь часть решения проблемы. Энергоэффективность достигается за счет оптимизации маршрутов (AI-планирование), использования облегченных материалов и развития общественного транспорта. В Норвегии, где 80% продаж

новых автомобилей приходится на электромобили, совокупное энергопотребление транспорта снизилось на 18% с 2015 года. Грузовые перевозки также претерпевают изменения: поезда на водородных топливных элементах в Германии экономят 4,5 млн литров дизельного топлива в год.

Жилой сектор потребляет 30% электроэнергии в мире. Smart Grid (умные сети) позволяют балансировать нагрузки и интегрировать ВИЭ. В США внедрение умных счётчиков снизило пиковое потребление на 5–10%. Однако важна и роль граждан: программы по замене окон, утеплению фасадов и установке солнечных панелей в Евросоюзе сократили энергозатраты домохозяйств на 25%. В Японии стандарты для бытовой техники (Top Runner Program) сделали холодильники и кондиционеры на 70% эффективнее, чем в 2000 году.

Обеспечение энергобезопасности требует системного подхода, который реализуется с помощью комплекса мер. Страны активно применяют нормативные акты, например, Директива ЕС по энергоэффективности (EED) устанавливает обязательное сокращение энергопотребления на 32,5% к 2030 году. Финансовые механизмы также играют ключевую роль: в Индии программа UJALA, основанная на субсидиях, позволила распространить 360 млн светодиодных ламп, что привело к ежегодной экономии 40 млрд кВт·ч. Инфраструктурные проекты демонстрируют свою эффективность: Южная Корея, инвестировав 6 млрд долларов в модернизацию энергосетей, сократила потери при передаче энергии с 7% до 3,5%.

Однако прогресс сталкивается с серьёзными вызовами. Высокие первоначальные затраты остаются препятствием: окупаемость реконструкции зданий может достигать 10–15 лет, что снижает интерес инвесторов. Технологическое неравенство усугубляет ситуацию — по данным МЭА, 60% промышленных двигателей в Африке не соответствуют стандартам энергоэффективности, что отражает зависимость развивающихся стран от устаревших технологий. Ресурсный национализм также замедляет переход к «зелёной» энергетике: экспортёры ископаемого топлива, такие как Саудовская Аравия и Россия, опасаются падения доходов из-за сокращения спроса.

Успешные кейсы доказывают, что трудности можно преодолеть. Дания, которая в 1970-х годах импортировала 95% энергии, сегодня экспортирует электроэнергию, вырабатываемую ветряными электростанциями, увеличив долю ВИЭ до 80% и вдвое снизив энергоёмкость ВВП [4]. Сингапур, внедрив стандарт Green Mark для зданий, добился сокращения их энергопотребления на 40%. Руанда

обеспечила электричеством 1,2 млн сельских жителей за счёт солнечных мини-сетей, отказавшись от дизельных генераторов.

Перспективы энергобезопасности связаны с инновациями. Цифровизация трансформирует управление энергосистемами: проекты вроде Siemens MindSphere используют цифровые двойники для прогнозирования аварий и оптимизации нагрузок. Развитие водородной экономики открывает новые возможности: «зелёный» водород, производимый с использованием ВИЭ, способен заменить ископаемое топливо в промышленности и на транспорте. Технологии переработки отходов в энергию (waste-to-energy) набирают обороты: в Швеции они уже покрывают 3% энергопотребления страны [5]. Эти подходы, дополненные принципами циркулярной экономики, формируют основу для устойчивого энергетического будущего.

Энергосбережение и энергоэффективность — это не просто элементы «зелёной» риторики, а практические механизмы укрепления энергетической безопасности. Они снижают зависимость от внешних поставок, уменьшают бюджетные расходы на субсидии и создают новые отрасли (производство солнечных панелей, интеллектуальные сети). Однако успех зависит от комплексных мер: сочетания строгих нормативов, финансовой поддержки, просвещения населения и международного сотрудничества. Страны, которые сделают энергоэффективность национальным приоритетом, смогут превратить энергетические риски в драйверы устойчивого роста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрижиевский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. - Мн.: Выш. шк., 2005. - 294 с.
2. Ефремов В.В., Маркман Г.З. «Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей «энергоэффективности» // Известия Томского политехнического университета, 2007. - Т. 311. № 4.
3. Желудев И. С., Константинов Л. В. Атомная энергетика в СССР // бюллетень МАГАТЭ. Книга 21, № 2.
4. Матарас Е.В., Олехнович Л.В. Реализация основных процессов энергосбережения в Республике Беларусь // Студенческий Вестник, 2007. - №10.
5. Мещанинцев В. Энергоэффективность российской экономики: региональный аспект [Электронный ресурс] // ЭСКО, 2010. - №2.

Гончаров А.Н., Белозёров Н.С.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА

В современном мире, который стремительно развивается за счёт огромного количества инновационных технологий, цементная промышленность считается одной из важнейших отраслей как для изготовления строительных материалов, так и для строительного производства в целом. В цементной промышленности для производства конечного продукта в виде цемента главным ресурсом служит сырьё, а именно смесь из известковых, карбонатных и глинистых пород с соответствующим количеством добавок. Цемент не является природным материалом, он изготавливается лишь из природных компонентов [1].

Стоит отметить ряд существенных факторов, такие как: повышение качества продуктов и сроков их хранения, снижение энергозатрат, а также уменьшение негативного влияния на окружающую среду. Цемент является неорганическим, вяжущим веществом, обладающим высокой плотностью, изготовление которого является сложным процессом. Достижение высококачественного уровня технической эффективности в производстве цемента является приоритетной задачей цементной промышленности страны [2-3].

Процесс производства цемента в своей основе включает в себя добычу, а также подготовку сырья, его предварительный нагрев, печь, охлаждение клинкера, хранение и отгрузку. Процесс начинается с разложения карбоната кальция ($CaCO_3$) при температуре около $900^{\circ}C$, чтобы оставить оксид кальция (CaO) и выделить углекислый газ (CO_2). Этот процесс известен как обжиг. Цемент выпускается на основе клинкера.

Клинкер – искусственный зернистый материал, который является одним из важнейших компонентов в приготовлении цемента и цементной продукции. Данный компонент производится в специально разработанных аппаратах-печах. Обжиг производится до спекания сырьевой смеси при температуре от $1200^{\circ}C$ [4].

Схема процесса производства цемента представлена на рисунке 1.

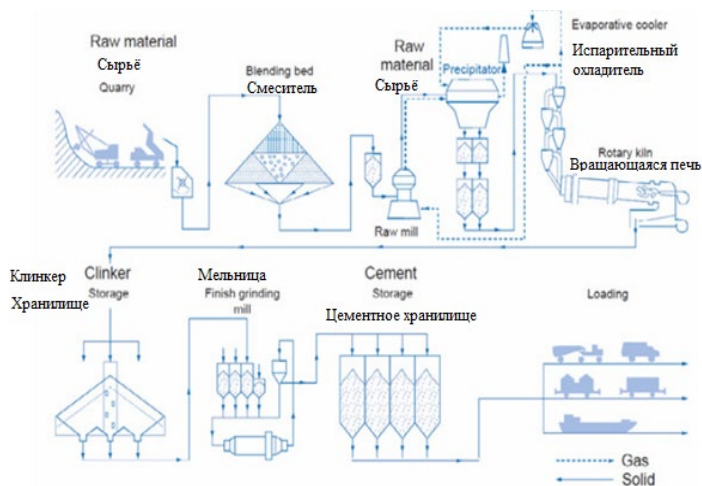


Рис. 1 – Схема производства цемента.

Основными методами производства клинкера в России являются:

- обжиг сухим способом;
- обжиг мокрым способом;
- комбинированный способ производства (при использовании сухого и мокрого одновременно).

Обжиг сухим способом является достаточно энергоёмким, так как он позволяет снизить удельный расход топлива почти в два раза, по сравнению с другими методами. Основной материал для производства данным способом – сырьевой шлам.

Данный способ заключается в следующем. После выхода из дробилки известняк и глину высушивают до влажности 1%, после чего измельчают в сырьевую муку. Помол и сушку сырьевой смеси производят в сепараторной мельнице. Мука получается путём дозирования сырьевых компонентов в мельнице с последующим усреднением и корректированием сырьевой шихты в специальных смесительных силосах.

Обжиг мокрым способом заключается в том, что сырьё измельчается и смешивается с водой. В результате данной операции получается масса (сырьевой шлам), которая содержит от 32 до 45 % воды. Далее сырьевой шлам отправляется на обжиг во вращающуюся печь, после чего проходит стадию охлаждения в холодильнике под воздействием холодного воздуха.

При комбинированном способе производства клинкера сырьевая смесь в виде шлама, полученного по мокрому способу производства, подвергается обезвоживанию и грануляции. Выходящий из сырьевой мельницы шлам влажностью 35-40% после обезвоживания приобретает влажность 16-20%. В пресс-фильтре шлам смешивается с пылью, которая способствует уменьшению влажности смеси до 12-14%. Далее смесь отправляется на обжиг во вращающейся печи [5-8].

Введение нового технологического оборудования на предприятиях цементной промышленности по типу вращающихся печей, устройство которой направлено непосредственно на улучшение качества производства цемента и повышение количества производственных работ при соблюдении энергетического и экономического баланса [9].

Заключение. В современном мире, который стремительно развивается за счёт огромного количества инновационных технологий, цементная промышленность считается одной из важнейших отраслей как для изготовления строительных материалов и включает в себя несколько способов производства. Актуальными методами для приготовления цементного клинкера являются такие способы, как:

- сухой обжиг;
- мокрый обжиг;
- комбинированный обжиг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробова О.С., Ткачёва А.С. Экологические аспекты цементного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. - № 7. – С.42-46.

2. Трубаев П.А. Энерготехнологический анализ высокотемпературных процессов и аппаратов производства силикатных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова. – 2007. – №1. – С.11-13.

3. Кузьмина Т.А. Анализ рыночной среды предприятия цементной промышленности // Национальные экономические системы в контексте формирования глобального экономического пространства: сборник научных трудов / Под общей редакцией З.О.Адамановой. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью “Издательство Типография «Ариал», 2022. – С.274-277.

4. Болдырев А.С., Золотов П.П., Люсов А.Н. Строительные материалы: справочник / М.:Стройиздат. 1989. 567 с.

5. Малков А.В. Экономические и экологические аспекты производства цемента в Российской Федерации // Вестник Российского химико-технологического университета им. Д.И.Менделеева: гуманитарные и социально-экономические исследования. – 2021. - №12-2. – С.124-132.

6. Дзюба О.В. Построение балансовой схемы материальных потоков для предприятий по производству цемента // Строительство и архитектура-2015. – 2015. – С.29-32.

7. Губарева В.В., Расчёт и проектирование конвективных сушильных установок, БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2014. – 120 с

8. Подлесных А.И. О целесообразности применения СВЧ-технологий для экологизации производства цементного клинкера // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. - № 10-2 (41). – С.97-98.

9. Коробова О.С., Ткачева А.С., Перспективы внедрения наилучших доступных технологий при производстве цемента // ГИАБ. – 2016. - № 11.

УДК 621.311

Гюльзаян Л.М.

Научный руководитель: Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОПТИМАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РЕФОРМЕ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ

Электроэнергетическая система, являясь важной инфраструктурой современного общества, играет ключевую роль в устойчивом экономическом развитии и экологической устойчивости. Сегмент передачи и распределения, будучи критической частью электроэнергетической системы, напрямую влияет на эффективность использования энергии и стоимость электроэнергии через ее потребление и потери. Поэтому исследование энергосберегающих и снижения потерь в рамках механизмов тарификации передачи и распределения электроэнергии имеет большое значение для повышения энергоэффективности всей электроэнергетической системы, снижения эксплуатационных расходов и продвижения зеленого и низкоуглеродного развития [1].

В настоящее время энергосберегающая модернизация распределительных сетей представляет собой комплексную инженерную задачу, включающую обновление оборудования, оптимизацию структуры сети, переконфигурацию сети, компенсацию реактивной мощности и улучшение эксплуатации. Широкие исследования проводились как внутри страны, так и за рубежом по вопросам снижения потерь и энергосбережения в распределительных сетях. Устройства, такие как параллельные конденсаторы и реакторы, известные своей стоимостной эффективностью и практичностью, стали ключевыми инструментами для энергосбережения и снижения потерь. Например, Ли и Сю исследовали использование методов высоковольтного однофазного питания, а Лонг и др. сосредоточились на энергоэффективных трансформаторах распределения. Также есть исследователи, которые изучали стратегии снижения потерь в низковольтных и средневольтных распределительных сетях соответственно [2].

В условиях глобальных климатических изменений и насущной необходимости сокращения выбросов парниковых газов, энергетический сектор, особенно электроэнергетика, сталкивается с огромным давлением, чтобы перейти к более чистым и устойчивым практикам. Интеграция возобновляемых источников энергии, хотя и полезна для сокращения выбросов углерода, также вызывает новые проблемы управления сетью из-за их прерывистой и переменной природы. Эта сложность требует продвинутых стратегий снижения потерь в сети, которые могут адаптироваться к динамическим изменениям в паттернах производства и потребления электроэнергии.

С развитием технологий становится доступно все больше методов энергосбережения и сокращения выбросов углерода. Например, в контексте электрических сетей энергосберегающие модификации могут быть реализованы различными способами, включая трансформацию сечения проводов, оптимизацию радиуса питания и перераспределение электрических нагрузок. Кроме того, учитывая огромное количество сетевых устройств, получаемые комбинации стратегий многочисленны, делая оптимизацию выбора стратегии критически важной задачей. Очевидно, что выбор стратегий снижения потерь в сети может привести к разным результатам как с точки зрения экономической, так и экологической эффективности [3].

Против этого фона эта статья предлагает модель оптимизации для выбора стратегий снижения потерь в сети, которая не только минимизирует сумму комплексных инвестиционных затрат и затрат на потери энергии за жизненный цикл стратегий, но и учитывает

косвенные затраты, связанные с выбросами углерода. Модель предназначена быть гибкой и адаптируемой к различным сценариям, позволяя включать ограничения на количество мер по снижению потерь и общие инвестиционные ограничения.

Модель снижения потерь в данном исследовании направлена на минимизацию общих затрат, которые включают как комплексные инвестиционные затраты, так и затраты на потери электроэнергии, на протяжении всего срока действия стратегии снижения потерь. Расходы на потерю электроэнергии включают прямые и косвенные затраты, в частности, штрафы, связанные с выбросами углерода. Модель подвержена нескольким ограничениям, включая допустимое отклонение напряжения в линиях, мощность передачи (ток) ответвлений, количество мер по снижению потерь, скорость потерь энергии и ограничение на общие допустимые инвестиции.

Согласно принципу, одна мера снижения потерь может составить план снижения потерь, а комбинация одной или нескольких мер снижения потерь также может составить план снижения потерь. Переменная решения (0 или 1) указывает, была ли реализована каждая мера снижения потерь. Генетический алгоритм имеет сильную способность поиска и низкую зависимость от целевой функции, поэтому он очень подходит для решения таких задач. Адаптивный генетический алгоритм (AGA) был предложен Шринивасом, который регулирует скорость скрещивания и скорость мутации в соответствии со значениями приспособленности потомков после каждой итерации. По сравнению со стандартным генетическим алгоритмом (SGA), он имеет лучшую скорость сходимости. По сравнению с другими алгоритмами, такими как (PSO), AGA динамически регулирует скорости мутации и скрещивания, чтобы сохранить разнообразие популяции, избегая преждевременной сходимости. Это позволяет AGA выполнять широкий поиск рано для разнообразия и тонкий поиск позже для защиты оптимальных решений, приводя к более эффективной сходимости к глобальному оптимуму. Кроме того, AGA естественно обрабатывает дискретные переменные, такие как двоичное кодирование, в то время как PSO, предназначенный для непрерывных пространств, испытывает трудности с дискретными комбинаторными задачами оптимизации и требует дополнительных модификаций. Более того, в высокомерных или невыпуклых задачах PSO может потерпеть неудачу из-за дивергенции траектории частицы и легко попадает в локальный оптимум. AGA увеличивает стабильность за счет увеличения скорости мутации для введения новых решений и использует стратегии типа «разделяй и властвуй», такие как

группировка переменных, чтобы снизить связность задачи, делая его более эффективным для сложных задач оптимизации.

В условиях реформы цен на электроэнергию электрические сетевые компании срочно нуждаются в разведении потенциала снижения потерь и оптимизации мер по снижению потерь, чтобы снизить потери в сетях техническими средствами. Эта необходимость становится еще более важной в свете низкоуглеродной повестки дня. Эта статья предлагает метод оптимизации выбора стратегий снижения потерь в распределительных сетях, учитывающий преимущества низкоуглеродных инициатив. Она предоставляет теоретическую основу для оптимизации стратегий снижения потерь в распределительных сетях, решая проблему количественного выбора стратегий снижения потерь демонстрируя ее хорошую применимость и осуществимость. Мы также применили этот метод к оптимизации снижения потерь в провинциальных электрических сетях, и результаты демонстрируют, что метод обладает отличной адаптивностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 135-137.

2. Поздняков, М. Н., Коротченко, С. Н. Методы снижения потерь в распределительных сетях с использованием умных сетей / М. Н. Поздняков, С. Н. Коротченко // Актуальные проблемы энергетики. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. — С. 39-42.

3. Смирнов А., Созинов И. Снижение потерь электроэнергии. оптимизация режима сети и применение цифровых технологий / Смирнов А., Созинов И. // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2021. — № 1 (20). — с. 14-18.

4. Толстых Т.Н., Нагамова М.С. Современные подходы к тарифообразованию в электроэнергетике / Толстых Т.Н., Нагамова М.С. // Социально-экономическое развитие России и регионов в цифрах статистики. — Тамбов: издательский дом "Державинский", 2021. — с. 218-227.

РОЛЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БУДУЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время широко распространенный консенсус заключается в том, что выбросы парниковых газов, производимые человечеством, должны быть сокращены, чтобы избежать дальнейшего глобального потепления. Энергетический сектор играет важную роль в сокращении этих выбросов, особенно выбросов углекислого газа. Во всем мире ископаемые виды топлива доминируют в энергетическом секторе, и это, вероятно, произойдет в обозримом будущем. Развивающиеся экономики, такие как Китай и Индия, вряд ли откажутся от производства энергии на ископаемом топливе в ближайшее время. В странах с более развитой экономикой переход к различным низкоуглеродным технологиям, таким как возобновляемые источники энергии, поощряется и даже востребован. Европейский союз установил целевые показатели по сокращению выбросов CO₂ и возобновляемой энергетике для своих государств-членов [1].

Большинство действующих ядерных реакторов относятся к легководным реакторам второго поколения (Gen II), но в настоящее время осуществляется переход к реакторам поколения III (Gen III) и поколения III+ (Gen III+). Из 72 строящихся реакторов тридцать относятся к реакторам III поколения. Китай объявил, что на данный момент он будет строить только реакторы III поколения, но, конечно, в будущем не исключены более совершенные конструкции реакторов.

Надежность энергоснабжения и постоянная доступность энергии по доступной цене неоценимы для общества. Безопасность электроснабжения необходима, поскольку электричество используется повсюду вокруг нас. Она не только предоставляет основные услуги для производства, связи и торговли, но и имеет неоценимое значение для удовлетворения основных потребностей человека, таких как отопление, вентиляция, а также снабжение продуктами питания и водой. Электродвигатели и насосы используются повсеместно. Такие виды деятельности, как производство, транспортировка, хранение и распределение продуктов питания, в нынешних масштабах были бы практически невозможны без электричества [2].

Относительно небольшой объем ядерного топлива, необходимый для работы реактора, облегчает создание стратегических запасов, даже если общая тенденция последних лет направлена на обеспечение безопасности поставок на основе разнообразных и надежных рынков услуг по поставке урана и топлива. Тем не менее, ядерное топливо и уран предлагают возможность хранения относительно недорогих стратегических запасов для стран и коммунальных предприятий, которые считают их важными.

Возобновляемые источники энергии и ядерная энергия имеют одну существенную общую черту: используя ядерную и возобновляемую энергию, человечество не истощает ресурсы, полезные для других целей. Эти источники выработки электроэнергии предоставляют доступ к практически безграничным ресурсам энергии с незначительными альтернативными издержками. Другие виды топлива, используемые для производства энергии такие как нефть, древесина или уголь, также находят другое применение.

Парниковые газы, выбрасываемые ядерной энергетической системой, не ограничиваются только углекислым газом но и другими парниковыми газами. Однако имеющихся данных по другим парниковым газам не хватает, поэтому здесь анализ ограничивается выбросами CO₂. Атомная энергетика не производит прямых выбросов парниковых газов или других загрязнителей воздуха во время эксплуатации и, как правило, производит очень низкие выбросы на протяжении всего своего жизненного цикла. Оценка выбросов парниковых газов от ядерной энергетике включает в себя всю цепочку ядерных процессов: добычу урана, его измельчение, обработка и обогащение урана, изготовление топлива, строительство атомной электростанции и, наконец, операции по демонтажу и утилизации [3].

Традиционно атомные электростанции рассматривались как источники базовой нагрузки электроэнергии. Это связано с тем, что ядерная энергетика является технологией с высокими постоянными затратами и низкие переменные затраты, поэтому наиболее выгодный способ запуска атомной электростанции — это запуск её почти на полную мощность при стабильных ценах. Реагирование на колебания спроса на электроэнергию традиционно возлагается на электростанции с низкими постоянными и высокими переменными издержками, такие как газовые установки или установки, работающие на ископаемом топливе. Тем не менее, атомные электростанции предлагают ценные услуги по управлению сетью, и они также могут работать в режиме отслеживания нагрузки. В некоторых странах, таких как Франция, доля ядерной энергетике в национальном балансе выработки электроэнергии

стала настолько большой, что коммунальные предприятия должны иметь возможность эксплуатировать некоторые ядерные реакторы в режиме следования нагрузке. Спрос на электроэнергию в стране меняется ежедневно и сезонно, и производство электроэнергии должно быть в состоянии следовать этим изменениям. Во Франции более 75% электроэнергии в стране вырабатывается атомными электростанциями, а оставшиеся 25% вырабатываются различными источниками, не все из которых могут работать в режиме следования нагрузке. Более того, ядерные мощности во Франции превышают потребности в базовой нагрузке в определенные периоды, в течение которых необходимо снизить общую ядерную нагрузку. Другая причина снижения нагрузки после режима работы атомных электростанций связана с крупномасштабным внедрением источников электроэнергии с перебоями, таких как энергия ветра или фотоэлектрическая энергия. В ряде стран ОЭСР растет доля возобновляемых источников электроэнергии, что привело к значительным и нерегулярным колебаниям в доступном энергоснабжении. Это затруднило балансирование национального спроса на электроэнергию [4].

Согласно нынешнему общепринятому мнению, одной из самых больших проблем для энергетического сектора является смягчение последствий изменения климата. Решения энергетического сектора по смягчению последствий изменения климата включают эффективное использование и производство энергии из CO₂ - бесплатные источники выработки электроэнергии, улавливания и хранения углерода. Ядерная энергетика и возобновляемые источники энергии имеют самый низкий уровень CO₂ выбросы на киловатт-час энергии и, следовательно, переход к энергетической системе, состоящей в основном из этих генерирующих источников, необходимы для смягчения последствий изменения климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 135-137.
2. Адамов Е.О., Соловьев Д.С. Ядерная энергетика - вызовы и решение проблем / Адамов Е.О., Соловьев Д.С. // Энергетическая политика. — 2017. — № 3. — с. 21-30.
3. Иванова Н.А., Кустова Т.Е. Перспективы развития атомной

энергетики // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 136-137.

4. Пономарев-Степной Н. Н. Ядерная энергетика и ее будущее // Бюллетень по атомной энергии. — 2006. — № 5. — с. 4—11.

5. Трубаев, П. А. Кошлич, Ю. А. Белоусов, А. В. Буханов, Д. Г. Гребеник, А. Г. Прасол, Д. А. Исследование эффективности использования геотермальной теплонасосной установки в климатических условиях российских регионов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2025. — № 3. — С. 49-67.

УДК 621.365

Гюльзадян Л.М.

*Научный руководитель: Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ГИБРИДНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СИСТЕМЫ: ВОЗМОЖНОСТИ НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Эффективное использование солнечной энергии, также известной как энергия инсоляции, может значительно облегчить решение проблем, связанных с охраной окружающей среды, и удовлетворить глобальный спрос на энергию. Фотоэлектрическая (PV) технология специально разработана для прямого преобразования солнечной энергии в ценную электрическую энергию. Несмотря на более высокие первоначальные инвестиции по сравнению с другими системами возобновляемой энергетики, солнечные фотоэлектрические системы широко распространены по всему миру благодаря более низким эксплуатационным расходам и затратам на техническое обслуживание. Кроме того, солнечные фотоэлектрические системы обладают такими преимуществами, как более высокая эффективность и выработка экологически чистой электроэнергии [1].

Основным недостатком фотоэлектрических панелей является их способность преобразовывать лишь часть солнечного излучения в электрическую энергию, в то время как оставшаяся энергия повышает температуру фотоэлектрических элементов, негативно влияя на их производительность. Повышение температуры фотоэлектрических элементов всего на 1 °С может снизить производительность примерно на 0,1–0,5%, значительно уменьшая КПД фотоэлектрических

элементов, особенно при постоянном солнечном излучении. Кроме того, повышенное сопротивление цепи, вызванное более высокой температурой фотоэлектрических элементов, снижает скорость электронов, что влияет на напряжение холостого хода и существенно сказывается на общих характеристиках элемента. Поэтому рекомендуется поддерживать рабочую температуру фотоэлектрических элементов в диапазоне от 0 °С до 75 °С. Температурный коэффициент, представляющий собой скорость снижения напряжения на единицу повышения температуры, определяет температурную зависимость основных материалов, используемых для оценки характеристик фотоэлектрических элементов, и подчёркивает тесную взаимосвязь между выходной мощностью и температурой фотоэлектрической панели.

Система PVT объединяет фотоэлектрические элементы с тепловым коллектором для одновременного преобразования электрической и тепловой энергии. Такая интеграция повышает эффективность использования солнечной энергии, позволяя вырабатывать больше электроэнергии и тепловой энергии на единицу площади, чем автономные солнечные фотоэлектрические или тепловые системы [2].

Для регулирования температуры фотоэлектрических панелей используются различные методы охлаждения, в зависимости от того, являются ли они пассивными или активными. Всестороннее и актуальное исследование технологий охлаждения представлено в следующих разделах, классифицированных в соответствии с типом задействованных механизмов теплопередачи. Выбор теплоносителя (НТФ), используемого в системах PVT, определяет их производительность и реализацию.

Гибридные PVT-системы предназначены для одновременной выработки электроэнергии и тепловой энергии. Полученную тепловую энергию можно использовать в самых разных областях, включая нагрев воды, отопление помещений, сушку, солнечное опреснение, производство текстиля, солнечные электростанции, сельскохозяйственный сектор, хранение продуктов питания и фармацевтических препаратов, производство автомобилей и медицинское применение [3].

Аналогичным образом, PVT-системы, интегрированные с РСМ, могут вырабатывать как электрическую, так и тепловую энергию, которую также можно хранить. РСМ подходят для преобразования энергии и теплопередачи. Хранящуюся тепловую энергию можно эффективно использовать в бытовых и промышленных целях.

Например, РСМ играют важную роль в срочной транспортировке крови, а также в терапии холодом и пересадке органов, а также обеспечивают тепловую защиту для мороженого и пищевых продуктов. Кроме того, PVT-системы находят применение в разработке высокопроизводительных электронных устройств и текстиля, в кулинарии, промышленном нагреве и регулировании температуры в химических реакциях.

В пищевой промышленности обычно используются традиционные источники тепла, такие как горячий воздух и пар. Однако тепловая энергия, вырабатываемая PVT-системами, также может быть эффективно использована в этой отрасли. Пар и горячий воздух традиционно используются для нагрева в различных отраслях пищевой промышленности. Однако альтернативные методы нагрева, такие как инфракрасный, омический и микроволновый нагрев, привлекли внимание благодаря своей высокой энергоэффективности. В последние годы PVT-системы нагрева стали более популярным и энергоэффективным вариантом [4].

Электроэнергия вырабатывается из тепловой энергии на тепловых электростанциях. На этих электростанциях обычно нагревают воду для получения пара, который затем приводит в движение паровые турбины для выработки электроэнергии. В исследовании была изучена тепловая и электрическая эффективность гибридных пароводяных систем в стандартных условиях испытаний. Эти системы вырабатывают как электрическую, так и тепловую энергию, которую могут использовать тепловые электростанции. Результаты исследования показали, что использование метода активного охлаждения значительно повышает выходную мощность пароводяной системы.

Такие факторы, как рост населения, индустриализация и технологический прогресс, делают неизбежным дальнейший рост выбросов парниковых газов. К основным парниковым газам, вызывающим беспокойство, относятся углекислый газ, метан, гексафторид серы, угарный газ, закись азота и хлорфторуглероды. Эффективным решением для сокращения выбросов этих газов в атмосферу может стать внедрение систем PVT

Одной из проблем, связанных с традиционными рабочими жидкостями, используемыми в PVT-системах, является их неудовлетворительное тепловое поведение по сравнению с ожидаемыми условиями применения. Исследователи активно ищут улучшенные рабочие жидкости с улучшенными тепловыми свойствами, чтобы решить эту проблему. В частности, замерзание воды в холодных регионах ограничивает использование PVT-систем на водной основе,

что делает PVT-системы на воздушной основе более подходящими для обогрева в таких регионах. Поэтому крайне важно разработать соответствующие системы на водной основе, предназначенные для холодных регионов [5].

С точки зрения конструкции системы, активные PVT-системы требуют большей мощности насоса по сравнению с пассивными системами. PVT-системы с естественной циркуляцией более экономичны, чем системы с принудительной циркуляцией. Доступность водоснабжения ограничивает применение PVT-систем на водной основе, в то время как воздух легко доступен для PVT-систем на воздушной основе. Выбор теплоносителя во многом зависит от предполагаемого применения PVT-системы.

Двухжидкостная система охлаждения с управлением температурой работает лучше, чем другие системы. Кроме того, PVT-система с интегрированным PCM-материалом имеет преимущества в виде охлаждения PVT-системы и хранения избыточной тепловой энергии. Хранящуюся энергию можно использовать, когда солнечная энергия недоступна. PVT-системы с NEPCM-материалом обладают более высокой тепловой эффективностью. Во время зарядки эти системы накапливают на 8,3% больше тепловой энергии, а во время разрядки выделяют на 25,1% больше тепловой энергии, чем традиционные PVT-системы. Более того, использование комбинированной системы охлаждения, отопления и выработки электроэнергии (S-CCHP) на солнечной энергии вместо обычной фотоэлектрической системы может предотвратить выбросы 911 тонн CO₂ в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 135-137.

2. Ильичев В.Г., Фаюстова О.А. Сравнительный анализ систем водяного охлаждения фотоэлектрических модулей // IX Международная научно-практическая конференция «Культура, наука, образование: проблемы и перспективы». — 2021. — Т. 1. — №1. — С. 501-507.

3. Новиков, И. К., Коротков, В. К., Булыгин, Б. А. Обзор материалов с фазовым переходом как альтернативы солнечной энергии

и хранение тепловой энергии / И. К. Новиков, В. К. Коротков, Б. А. Булыгин // Вестник науки. — 2025. — № 6. — С. 2260 - 2265.

4. Ильичев, В. Г., Зайнутдинова, Л. Х., Теруков, Е. И., Михайлов, М. Ю. Сравнительный эксперимент по оценке эффективности водяного охлаждения фотоэлектрических модулей в климатических условиях Юга России / В. Г. Ильичев, Л. Х. Зайнутдинова, Е. И. Теруков, М. Ю. Михайлов // Глобальная ядерная безопасность. — 2023. — № 4. — С. 11-21.

5. Линник, Ю. Н., Жабин, А. Б., Линник, В. Ю. Состояние и перспективы развития солнечной энергетики // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2023. — № 2. — С. 6-17.

УДК 539.1.074.6

Иванушкин С.А., Афанаскина А.Н, Володина А.В.

Научный руководитель: Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ

В последние 30 лет метод термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) получил широкое применение в мировой практике индивидуального дозиметрического контроля обслуживающего персонала АЭС и ядерных энергетических установок. В 70-х годах зарегистрированы патенты геофизиков США и Франции на применение этого метода с использованием термолюминесцентных детекторов из поликристаллических таблеток фтористого лития и сульфата кальция для обнаружения повышенных содержаний радиоактивных эманаций почв при поисках урановых руд. Одновременно появились сообщения об отдельных случаях использования аналогичных детекторов для изучения регионального фона γ -излучения воздуха и почв в ряде стран Западной Европы и Скандинавии. Норвежские физики исследовали также содержания радона, попадающего из различных по составу почв в жилые дома и постройки [1].

Метод ТЛД основан на том, что некоторые неорганические вещества с определенным сочетанием дефектов кристаллической решетки примесного и собственного происхождения (так называемые запаасающие кристаллофосфоры) после возбуждения ионизирующим излучением при нагревании испускают свет. Количество испущенных

при этом оптических квантов оказывается пропорциональным поглощенной дозе ионизирующего излучения [2].

Электроны элементов, составляющих детектор, при поглощении энергии возбуждаются и переходят в более высокое энергетическое состояние, и эта энергия накапливается в детекторе. Детектор нагревается до определенной температуры, при которой энергия, накопленная в детекторе, будет освобождаться в виде импульсов света, и это количество света может быть зарегистрировано специальным оборудованием и пересчитано в дозу облучения [3].

Основу ТЛД составляют термолюминесцентные материалы, которые обладают способностью накапливать энергию ионизирующего излучения в виде захваченных электронов и дырок в дефектах кристаллической решётки. Выбор термолюминесцентного материала зависит от конкретной задачи. Фторид лития с добавлением магния и титана (LiF:Mg,Ti) в качестве активаторов остается золотым стандартом для медицинской и индивидуальной дозиметрии благодаря своей тканеэквивалентности и стабильности. Сульфат кальция с добавлением диспрозия ($\text{CaSO}_4\text{:Dy}$) и оксид алюминия с добавлением кальция ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) применяются там, где нужна высокая чувствительность, например, в космических исследованиях и экологическом мониторинге.

Термолюминесцентные дозиметры обладают рядом значительных преимуществ, которые делают их незаменимыми в различных областях радиационного контроля. Одним из ключевых достоинств является их высокая чувствительность, позволяющая регистрировать даже минимальные дозы ионизирующего излучения, что особенно ценно в медицинской диагностике и радиационном мониторинге окружающей среды. Термолюминесцентные дозиметры также ценятся за возможность многократного использования. После считывания сигнала многие материалы можно отжигать, возвращая их в исходное состояние, что делает метод экономически выгодным. Компактность и удобство формы детекторов позволяют применять их в индивидуальной дозиметрии, размещая на теле персонала или в труднодоступных местах. Ещё одним преимуществом является универсальность ТЛД – они реагируют на различные виды ионизирующего излучения, включая гамма-лучи, рентгеновское излучение, бета- и даже нейтронные потоки (при использовании специальных конвертеров). Это делает их незаменимыми в комплексном радиационном контроле на атомных электростанциях, в медицине и научных исследованиях. Также, современные термолюминесцентные детекторы отличаются высокой точностью и воспроизводимостью результатов, что в сочетании с

развитыми методами калибровки и автоматизированными системами считывания обеспечивает надёжность измерений. Благодаря этим преимуществам ТЛД продолжают оставаться одним из наиболее востребованных методов дозиметрии, несмотря на появление новых технологий.

Особую ценность ТЛД приобретает в сочетании с современными радиационно-защитными материалами [3-23]. Во многих отраслях использование радиационной защиты дополняется ТЛД-контролем. Такое сочетание пассивной защиты и активного мониторинга стало стандартом радиационной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пампура, В. Д., Непомнящих, А. И., Мироненко, С. Н., Афонин, Г. П. Применение метода термолюминесцентной дозиметрии в радиогеохимических исследованиях / В. Д. Пампура, А. И. Непомнящих, С. Н. Мироненко, Г. П. Афонин // Геохимия. — Иркутск: Институт геохимии, СО АН СССР, 1988. — С. 1789-1797.

2. Podgorsak, E.B. Radiation oncology physics [Text]: a handbook for teachers and students / E.B. Podgorsak. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. — 657 с.

3. Гвай, А. С., Аверьянова, Л. А., Шалепа, О. Ю. Современные методы и средства дозиметрии ионизирующих излучений в медицине / А. С. Гвай, Л. А. Аверьянова, О. Ю. Шалепа // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 9. — С. 40-44.

4. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.

5. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

6. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] /

П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.

7. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.

8. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. Использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12.

9. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.

10. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

11. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.

12. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлкомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

13. Ястребинский, Р. Н., Соколенко, И. В., Иваницкий, Д. А., Матюхин, П. В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

14. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal

composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

15. Matyukhin P.V. Inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.

16. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

17. Композиционный материал для радиационной защиты: пат. 2470395 Рос. Федерация № 2010152157/07; заявл. 20.12.2010; опубл. 20.12.2012

18. Матюхин, П. В., Бабенко, И. К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П. В. Матюхин, И. К. Бабенко [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород:Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.

19. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

20. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород:сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

21. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

22. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod:Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

13. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

УДК 621.039.577-182.3

Иванушкин С.А., Афанаскина А.Н, Володина А.В.

Научный руководитель: Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ РИТМ-200Н

Актуальность исследования - За семь десятилетий развития ядерной энергетика совершила огромный технологический рывок: если первый энергоблок Обнинской АЭС выдавал лишь 5 МВт, то современные реакторы, такие как китайский «Тайшань», достигают мощности 1660 МВт. Однако наряду с созданием мощных энергоблоков всегда сохранялась потребность в компактных атомных решениях — для атомных ледоколов, подводных лодок и космических аппаратов. Эти разработки легли в основу атомных станций малой мощности (АСММ), которые сегодня становятся ключевым решением для энергообеспечения удалённых территорий.

Россия с её огромной площадью (более 17 млн кв. км) сталкивается с серьёзной проблемой: около двух третей нашей страны это зоны децентрализованного энергоснабжения. Многие из этих регионов богаты природными ресурсами, но их добыча часто оказывается нерентабельной из-за высоких энергозатрат. АСММ способны решить эту проблему, обеспечив стабильное снабжение электроэнергией и теплом, а при необходимости — и пресной водой [1].

Перспективы применения малых атомных станций не ограничиваются только удалёнными посёлками. Их можно интегрировать в промышленную инфраструктуру — использовать на буровых платформах, горно-обогатительных комбинатах и металлургических предприятиях. Кроме того, модульные АСММ могут стать экологичной альтернативой устаревшим угольным и дизельным электростанциям, значительно сократив вредные выбросы без масштабной реконструкции энергосетей.

В будущем АСММ могут стать важным элементом децентрализованной энергетики, особенно в регионах с суровым климатом, слабой инфраструктурой или высокими требованиями к экологии.

Цель работы – рассмотреть особенности развития атомных станций малой мощности

Объект исследования – атомная энергетика

Предмет исследования – атомные станции малой мощности

Задачи исследования: изучить развитие атомных станций малой мощности и определить их особенности и области применения.

Основная часть. Несмотря на то, что строительство энергоблока большой мощности существенно снижает стоимость производства электроэнергии, продолжает сохраняться интерес к развитию проектов АЭС с малой единичной мощностью. Как показывают исследования, уже в 50 регионах России нужны атомные станции малой мощности [2]. Их неоспоримые преимущества:

- Безопасность для экологии. Безуглеродный, эффективный и надежный источник электроэнергии; АЭС малой мощности с 2 реакторами РИТМ-200 позволит сократить выбросы углекислого газа;
- Безопасность для человека. Новейшие реакторы РИТМ-200 основаны на проверенной временем водо-водяной технологии и сочетают в себе множество систем безопасности и внедрение всех пост-фукусимских требований.
- Экономические преимущества. Снижение нагрузки на региональный и Федеральный бюджеты; обеспечение региона не только электроэнергией, но и теплом по более выгодной цене по сравнению с альтернативными источниками энергии; создание энергоемких производств в регионе.

Еще одним плюсом АСММ является то, что топливо в такой реактор можно загружать раз в несколько лет или сразу на весь срок службы установки, а значит, обслуживание малой АЭС упрощается, снижаются экономические затраты, требуется меньшее количество персонала. Эти факторы помогают минимизировать вред, который можно нанести окружающей среде.

Прототипом реакторных установок малой мощности для наземной станции является реактор РИТМ-200, использующийся в атомных ледоколах. У него есть все необходимые расчетно-экспериментальные обоснования, он изготавливается серийно и обладает важными для АСММ эксплуатационными качествами – компактностью, высокой маневренностью и малым количеством жидких радиоактивных отходов. Ключевая особенность установки – интегральная компоновка.

Схемно-конструктивные и компоновочные решения наземной реакторной установки РИТМ-200Н, насколько это возможно, такие же, как и у РИТМ-200 и реакторной установки РИТМ-200С (будут устанавливаться на модернизированных плавучих энергоблоках) [3].

Её ключевое техническое решение - это интегральная компоновка, а которой активная зона, парогенераторы и главные циркуляционные насосы объединены в одном корпусе, что позволяет значительно уменьшать габариты установки и повышает её безопасность за счёт исключения крупногабаритных трубопроводов первого контура. В качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов здесь, как и в водородных реакторах (ВВЭР), используется обычная вода под давлением 12,7 МПа.

Одной из особенностей реактора РИТМ-200Н является то, что он работает на урановом топливе с повышенным обогащением (менее 20%) [4-5]. Это обеспечивает длительный топливный цикл продолжительностью до 8 лет между перегрузками. Реакторная установка обладает тепловой мощностью 190 МВт и может выдавать электрическую мощность до 55 МВт в зависимости от схемы использования. Системы безопасности реализованы по принципу максимально возможного использования пассивных элементов, например, аварийное расхолаживание осуществляется за счёт естественной циркуляции теплоносителя без необходимости дополнительного внешнего энергоснабжения. Многоуровневая система защиты включает двойную защитную оболочку, быстродействующую систему аварийного останова с поглощающими стержнями и резервные системы аварийного теплоотвода.

Также конструкция РИТМ-200Н способна обеспечивать работу с минимальным участием обслуживающего персонала благодаря высокой степени автоматизации управления. Цифровая система контроля и управления предоставляет непрерывное наблюдение за всеми параметрами работы реактора. Важным достоинством является то, что установка адаптирована под различные климатические условия и может стабильно функционировать в регионах с низкими температурами. Модульный принцип построения позволяет масштабировать мощность энергоблока путём комбинации нескольких реакторных установок.

Эти технические решения делают РИТМ-200Н перспективным вариантом для энергоснабжения удалённых районов и промышленных объектов, где традиционные крупные АЭС экономически нецелесообразны.

Заключение. АСММ — это технология будущего, способная обеспечить чистой энергией труднодоступные регионы и промышленные объекты. С развитием модульных реакторов и повышением их безопасности малые АЭС могут стать основным источником энергии для Севера, Дальнего Востока и других труднодоступных территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большие перспективы малых реакторов: почему они так популярны [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru> (Дата обращения 5.5.25)
2. Логинова С.С., Минеев И.В., Коваленко А.И. Востребованность атомных станций малой мощности [Текст] / С. С. Логинова, И. В. Минеев, А. И. Коваленко // Academy. — 2017. — № 5(20). — С. 9-11.
3. В наземном РИТМе [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosatomnewsletter.com> (Дата обращения 5.5.25)
4. Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозитов / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2011. – №2. – С. 27–29.
5. Клименко В.Г. Технология основных материалов современной энергетики / Клименко В.Г., Володченко А. Н. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. - 183 с

УДК 621.039.5

Колесов С.Н., Лупандин А.В., Недвига А.Г.
Научный руководитель: Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ - ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

В современном мире все чаще классические водяные ядерные реакторы заменяются реакторами с жидкометаллическими теплоносителями, в которых, как следует из названия, в качестве теплоносителя в первом контуре, нагревающего воду во втором, используют расплавленный металл (например, натрия или сплавы свинца).

Жидкометаллические теплоносители обладают рядом достоинств, делающих их привлекательными для применения в ядерной энергетике. Они оказывают слабое коррозионное воздействие на конструкционные материалы реактора, что продлевает срок их службы. Благодаря низкой упругости паров такие теплоносители помогают снизить давление в системе, уменьшая нагрузку на оборудование. Их высокая температура кипения обеспечивает гибкость эксплуатации, позволяя работать в широком диапазоне режимов. Кроме того, хорошая электропроводность жидких металлов открывает возможность использования герметичных электромагнитных насосов, что повышает надежность системы. Еще одним плюсом является редкая необходимость в замене теплоносителя, что снижает эксплуатационные затраты.

Однако у таких теплоносителей есть и ряд минусов. Щелочные металлы, входящие в их состав, отличаются высокой химической активностью, что требует особых мер безопасности. Еще одной проблемой является активация теплоносителя, что усложняет обращение с ним. Кроме того, применение жидких металлов приводит к усложнению технологической схемы ядерной установки, увеличивая стоимость и сложность обслуживания.

Таким образом, жидкометаллические теплоносители имеют больше преимуществ, чем недостатков. По сравнению с классическими реакторами на водных теплоносителях, они дешевле в эксплуатации и проще в управлении.

В данный момент ведутся разработки нескольких реакторов с теплоносителями на жидких металлах: БН-1200 (реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем), БРЕСТ-ОД-300 (Быстрый Реактор Естественной безопасности со Свинцовым Теплоносителем), СВБР-100 (Свинцово-висмутовые быстрый реактор).

Целью статьи является изучение особенностей инновационных реакторов на жидкометаллических теплоносителях.

Задачи статьи:

- Определение преимуществ и недостатков реакторов на жидкометаллических теплоносителях;
- Исследование принципов работы и особенностей реакторов БН-1200М, БРЕСТ-ОД-300, СВБР-100;

Рассматриваемый объект - атомные реакторы. **Предметом** являются проектируемые реакторы на жидкометаллических теплоносителях.

Основная часть. Рассмотрим конкретные реакторы на жидкометаллических теплоносителях: БН-1200М, БРЕСТ-ОД-300 и СВБР-100.

БН-1200М — продолжение серии реакторов БН на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. В настоящее время 4 энергоблоке Белоярской АЭС с 10 декабря 2015 работает реактор БН-800.

Энергоблок с реактором БН-800 обладает высокой степенью самозащищённости от внешних и внутренних угроз. В его конструкции заложены пассивные механизмы регулирования реактивности, аварийные системы расхолаживания через теплообменники, а также специальный поддон для расплавленного топлива. Ключевая особенность — нулевой натриевый пустотный эффект реактивности. Благодаря этим решениям риск аварии с расплавлением активной зоны и выбросом сводится к минимуму. [2]

Конструкция БН-1200М базируется на проверенных решениях БН-800, но включает новые инженерные разработки. Эти усовершенствования направлены на достижение более высоких показателей безопасности и надёжности в линейке реакторов типа БН.

В 2023 году уже запустили модель активной зоны реактора, а в 2025-2027 планируют начать строительство реактора на Белоярской АЭС с вводом в эксплуатацию в период 2031-2035 [1, 3-4].

Энергоблок №4 Белоярской АЭС с реактором БН-800 должен стать прототипом более мощных блоков с реактором БН-1200М, который призван стать основным коммерческим энергоблоком для последующего серийного сооружения.

БРЕСТ-ОД-300 (Быстрый Реактор Естественной безопасности со Свинцовым Теплоносителем) — быстрый реактор со свинцовым теплоносителем и замкнутым топливным циклом.

По уровню безопасности реактор БРЕСТ-ОД-300 превосходит все действующие сегодня энергоблоки благодаря способности к самогашению при отклонении любых параметров от нормы.

Реактор БРЕСТ-ОД-300 применяет инновационный свинцовый теплоноситель, обладающий высокой температурой кипения, радиационной стойкостью и минимальной активацией, который благодаря своей химической инертности к воде и воздуху позволяет обойтись без высокого давления в контуре и полностью исключает риск пожаров и взрывов. В качестве топлива используется плотная нитридная смесь урана с плутонием (UN-PuN, так называемое СНУП-топливо), превосходящая традиционное оксидное топливо по надёжности, устойчивости к механическим повреждениям и температурным воздействиям. Уникальное сочетание свойств тяжелого свинцового теплоносителя и высокоплотного нитридного топлива обеспечивает полное воспроизводство делящихся изотопов в активной

зоне и стабильность нейтронно-физических характеристик реактора, полностью исключая возможность аварий с неконтролируемым ростом мощности, разрушением топливных элементов и выбросом радиоактивных веществ [5].

СВБР-100 (Свинцово-Висмутовый Быстрый Реактор) – это двухконтурная реакторная установка (РУ) малой мощности (100 МВт) модульного типа, практически полностью изготавливаемая на заводе и доставляемая на площадку АЭС в готовом виде различными видами транспорта, в том числе по железной дороге.

Модульная конструкция реактора позволяет создавать ядерные установки разной мощности, кратной мощности 1 реактора, для АЭС различного назначения. Он эффективен в различных режимах маневрирования мощностью и поддерживает разные виды топлива и топливные циклы без изменения конструкции. Изначально реактор работает в открытом цикле с отложенной переработкой ОЯТ (как ВВЭР), с перспективой перехода на замкнутый цикл с воспроизводством плутония. При использовании МОКС-топлива (от англ. mixed-oxide fuel, смешанное оксидное топливо) реактор обеспечивает полное топливное самообеспечение, не требуя дополнительных поставок урана [6].

К основным плюсам СВБР можно отнести: длительный топливный цикл (7-10 лет без доступа к топливу), использование уранового топлива с обогащением ниже 20% по ^{235}U , а также отсутствию переработки отработавшего топлива на месте. Также высокий уровень безопасности установки исключает риск радиационных выбросов даже в аварийных ситуациях, что позволяет строить АЭС вблизи городов и использовать их не только для выработки электроэнергии, но и для отопления.

Выводы. Реакторы на жидкометаллических теплоносителях всё ещё развиваются, при этом каждый реактор имеет свои особенности эксплуатации и, как следствие, различные требования к теплоносителю.

Серия реакторов БН в данный момент является основной работающей серией реакторов, на которой тестируются различные нововведения в ядерной энергетике. БН-800 также являются прототипом более мощных блоков БН-1200, который должен стать основным энергоблоком для последующего серийного производства. Реактор БРЕСТ-ОД-300 создается с целью уменьшения рисков заражения окружающей среды во время аварий. Реактор СВБР-100 является модульным, он практически полностью изготавливается на заводе и доставляется на площадку АЭС уже в готовом виде. Таким образом, в данный момент параллельно разрабатываются 3 реактора с

совершенно разными задачами, которые и составляют различные направления развития реакторов с жидкометаллическими теплоносителями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

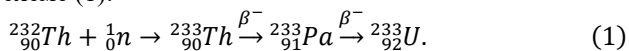
1. Реактор БН-1200М / [Электронный ресурс] // ФЭИ РОСАТОМ: [сайт]. — URL: <https://www.ippe.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
2. Быстрый энергетический реактор БН-800 / [Электронный ресурс] // ФЭИ РОСАТОМ: [сайт]. — URL: <https://www.ippe.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
3. Ученые Росатома запустили модель активной зоны первого в мире реактора на быстрых нейтронах БН-1200М / [Электронный ресурс] // ФЭИ РОСАТОМ: [сайт]. — URL: <https://www.ippe.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
4. «Росатом» ждет лицензию на БН-1200М в апреле 2025 года / [Электронный ресурс] // Страна Росатом: [сайт]. — URL: <https://strana-rosatom.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
5. БРЕСТ-ОД-300 / [Электронный ресурс] // ФЭИ РОСАТОМ: [сайт]. — URL: <https://www.ippe.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
6. СВБР-100 / [Электронный ресурс] // ФЭИ РОСАТОМ: [сайт]. — URL: <https://www.ippe.ru> (дата обращения: 19.05.2025).
7. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.
8. Матюхин, П. В., Бабенко, И. К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П. В. Матюхин, И. К. Бабенко [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.
9. Клименко В.Г. Технология основных материалов современной энергетики / Клименко В.Г., Володченко А. Н. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. - 183 с.

*Лупандин А.В., Колесов С.Н., Недвига А.Г.
 Научный руководитель: Клименко В.Г. канд. техн. наук, доц.
 Белгородский государственный технологический университет
 им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЗАМКНУТЫЙ ТОРИЕВЫЙ ЦИКЛ В КИТАЙСКОМ РЕКТОРЕ НА РАСПЛАВЛЕННОЙ СОЛИ

Торий – это серебристый металл из семейства актиноидов, имеющий в таблице Менделеева порядковый номер 90. Торий, как и все элементы из конца таблицы, радиоактивен, но очень слабо, примерно в 6-7 раз слабее, чем природный уран. Запасы Тория на Земле оцениваются примерно в 30-40 млн тонн, что примерно в 7-10 раз больше, чем урана. Кроме того, в отличие от урана, он распространён почти повсеместно, хотя концентрации его и не слишком велики [3].

С точки зрения ядерной энергетики торий на первый взгляд выглядит совершенно бесполезным. Он почти на 100% состоит из изотопа ^{232}Th , который не поддерживает цепную реакцию деления, а значит, всё, на что способен торий – это медленно распадаться естественным путём. Однако, если попасть в ядро атома ^{232}Th нейтроном, то будут происходить следующие последовательные превращения по схеме (1):



^{233}U поддерживает цепную реакцию деления и может быть использован в качестве ядерного топлива. То есть торий сам по себе не может служить ядерным топливом, но из него можно получить ядерное топливо, просто облучив его мощным нейтронным потоком, который имеется в ядерном реакторе. То есть ториевый топливный цикл выглядит примерно так. Берём работающий реактор и помещаем туда какое-то количество тория. За время работы реактора часть тория превращается в ^{233}U . Мы извлекаем этот уран из тория и загружаем в реактор в качестве топлива, а вместе с ним загружаем в реактор и новую порцию свежего тория. Так в процессе работы реактор будет вырабатывать не только электроэнергию, но ещё и производить топливо для самого себя на будущее. В принципе, эту операцию можно проделывать и в обычных твердотопливных реакторах, необходимые нейтронные потоки в них имеются. Однако на практике это может оказаться достаточно проблематичным. Во-первых, ^{233}U в отличие от

своих старших братьев, ^{235}U и ^{238}U , весьма радиоактивен. Во-вторых, в процессе наработки ^{233}U будут накапливаться, пусть и не в очень больших количествах, ^{232}U и ^{234}U , которые ещё более радиоактивны. Также они дают крайне неприятные в плане радиационной безопасности продукты естественного распада, вроде мощного гамма-излучателя ^{208}Tl . В общем, выделение ^{233}U из массы облучённого тория – это далеко не самое здоровое занятие, требующее повышенных мер радиационной безопасности, а значит и весьма дорогостоящее [4].

Преимуществом жидкосолевого реактора является то, что в нём всего этого делать вообще не требуется. Всё происходит в процессе работы реактора, как бы само собой. Изначально мы заправляем реактор ураном (^{233}U или ^{235}U), полученным нами заблаговременно. Запускаем цепную реакцию, а затем постепенно начинаем добавлять торий. В реакторе торий облучается и начинает превращаться в ^{233}U , который сразу же вовлекается в реакцию и сам становится ядерным топливом. И по мере того, как начальная затравочная порция урана постепенно выгорает, реактор начинает использовать ^{233}U , который он сам же для себя и произвёл. Тем самым реализуется замкнутый ториевый цикл. Что там ещё образуется в процессе, нам не так уж и важно. Все неприятные радиоактивные изотопы либо сгорят в ядерной топке, либо будут захоронены вместе с прочими ядерными отходами. Кстати, в случае ториевого цикла эти самые отходы получаются куда менее вредными. Например, в них существенно меньше так называемых минорных актинидов, вроде изотопов Sm и Am , и совсем нет Pu . Если в случае уранового цикла отходы будут оставаться опасными на протяжении десятков и даже сотен тысяч лет, то в случае ториевых реакторов речь идёт об уменьшении активности до природного уровня примерно за 300-500 лет [3].

Не менее важен и вопрос изотопного состава. Природный уран требует обогащения, то есть повышение концентрации топливного ^{235}U до хотя бы 3-5%. И это весьма сложная и дорогостоящая процедура. С торием она не требуется вообще. Просто из природного тория можно делать фторид, а затем непосредственно вводить этот фторид в топку реактора. Отказ от дорогостоящей процедуры обогащения топлива позволит существенно снизить стоимость ядерной электроэнергии примерно в полтора-два раза против той, которую выдают урановые твердотопливные реакторы [5].

Собственно, замкнутый ториевый цикл – это, по сути, альтернатива замкнутому урановому, только с другими веществами и на других реакторах. В России пошли по быстро-нейтронному пути. Китайцы же, видимо, решили работать с торием.

Итак, как же обстоят дела с китайским ториевым проектом в настоящий момент? Уже можно, пожалуй, сказать, что у китайцев есть работающий жидкосолевым реактор, пусть пока что только экспериментальный. И это немалое достижение, хотя здесь нельзя не упомянуть, что китайцы в этом плане далеко не первопроходцы. Ещё в 60-х годах в американской лаборатории Окриджа 4,5 года успешно проработал экспериментальный жидкосолевым реактор MSRI на ^{233}U [6].

Ключевой момент – это наработка ^{233}U из ^{232}Th в самом реакторе, американцы этим вообще не занимались. Китайцы попробовали, и кое-что у них уже получилось. По крайней мере, в реакторе TMSR-LF1 подтверждена наработка ^{233}Pa , а значит и ^{233}U , вопрос только в количествах. Коэффициент конверсии топлива в TMSR-LF1 вряд ли превышает 10%. Иными словами, в процессе сжигания 1 кг топлива TMSR-LF1 нарабатывает лишь 100 г нового топлива, чего явно недостаточно для замыкания топливного цикла. TMSR-LF1, в принципе, не может эффективно набирать ^{233}U из-за своей малой мощности. Возможно, в более мощных версиях реактора коэффициент конверсии будет больше.

Ториевым реакторам необходимо иметь систему фильтрации протактиния, без которой нужного для замыкания цикла коэффициента конверсии в единицу не достичь. Дело тут вот в чём. Мы говорили, что в реакторе ^{232}Th превращается в ^{233}U по схеме (1). Именно так всё и будет, но при одном условии, если ^{233}Pa с периодом полураспада 27 дней за время своей жизни не поглотит ещё один нейтрон. В этом случае он превратится в ^{234}Pa , а тот посредством альфа-распада в ^{230}Ac . Проще говоря, цепочка распадов поведёт нас совершенно в другую сторону, и урана мы в итоге не получим. Чтобы избежать этого сценария, ^{233}Pa необходимо выделить из солевого расплава и отправить в специальный отстойник, где он естественным образом превратится в ^{233}U . И вот этот ^{233}U уже можно будет загружать в реактор. Такой системы извлечения протактиния из расплава у китайского реактора пока нет, и не ясно, когда она появится и тем более пройдёт проверку практической эффективности.

В заключение отметим, что, несмотря на радужные перспективы использования тория в качестве топлива в реакторах на расплаве солей, этой технологии ещё предстоит преодолеть серьезные трудности. Одна из главных проблем заключается в том, что расплавленные соли обладают высокой коррозионной активностью, что создает проблемы для материалов и компонентов реактора, которые должны выдерживать такие суровые условия [7, 8].

Если говорить конкретно о замкнутом ториевом цикле, то к этому вопросу китайские ядерщики, можно сказать, только подступают. И с учётом длительности процессов внедрения инноваций в ядерной энергетике замкнутый ториевый цикл мы можем не увидеть ещё несколько десятилетий. Тем не менее, уже тот факт, что работы в этом весьма перспективном направлении идут, радует даже сам по себе, как и то, что в последние несколько лет мы всё чаще и чаще слышим о принципиально новых решениях в сфере ядерной энергетике, без которой человечеству не обойтись ни в настоящем, ни в ближайшем будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. TMSR-LF1 / [Электронный ресурс] // Википедия : [сайт]. — URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 10.05.2025).
2. China to launch world's first thorium molten salt nuclear power station in 2025 / [Электронный ресурс] // Interesting Engineering : [сайт]. — URL: <https://interestingengineering.com> (дата обращения: 10.05.2025).
3. Цикл надежды / [Электронный ресурс] // Атомный эксперт : [сайт]. — URL: <https://atomicexpert.com> (дата обращения: 10.05.2025).
4. Атомная энергетика / [Электронный ресурс] // Ядерная физика в интернете : [сайт]. — URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru> (дата обращения: 10.05.2025).
5. Бюллетень МАГАТЭ / [Электронный ресурс] // International Atomic Energy Agency : [сайт]. — URL: <https://www.iaea.org> (дата обращения: 10.05.2025).
6. Aircraft Reactor Experiment / [Электронный ресурс] // Википедия : [сайт]. — URL: <https://en.wikipedia.org> (дата обращения: 10.05.2025).
7. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. модифицированные железооксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.
8. Клименко, В. Г., Володченко, А. Н. Технология основных материалов современной энергетике [Текст] / В. Г. Клименко, А. Н. Володченко — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021 — 183 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ: ЭРГОНОМИКА, ОШИБКИ ОПЕРАТОРОВ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ

Современные терминалы релейной защиты и автоматики (РЗА) играют критически важную роль в энергосистемах, однако их пользовательские интерфейсы зачастую остаются архаичными. В отличие от других отраслей, где интерфейсы постоянно развиваются (банкоматы, платежные терминалы, бытовая техника), интерфейсы устройств РЗА по-прежнему основаны на примитивных текстовых меню. Это увеличивает вероятность ошибок, замедляет обучение персонала и снижает эффективность работы.

Исследования в области человеко-машинного взаимодействия (НМИ) показывают, что оптимизация интерфейсов может значительно повысить надежность работы операторов. В данной статье рассматриваются ключевые проблемы современных интерфейсов РЗА, преимущества улучшенных решений и конкретные рекомендации по их внедрению.

Актуальные проблемы интерфейсов релейной защиты. Современные интерфейсы устройств РЗА, несмотря на технологический прогресс в других областях, продолжают демонстрировать ряд существенных недостатков, негативно влияющих на эффективность работы энергосистем. Эти проблемы требуют особого внимания, так как непосредственно связаны с безопасностью и надежностью энергообъектов.

Сложность восприятия текстовой информации. Основная масса интерфейсов релейной защиты по-прежнему построена на принципах текстового меню с многочисленными аббревиатурами и техническими терминами. Как показали исследования, где для подсчета умственной нагрузки использовали инструмент NASA Task Load Index (NASA TLX), подобный подход увеличивает когнитивную нагрузку на оператора и приводит к 25%-ному росту времени принятия решений в критических ситуациях [3]. Особую проблему представляет схожесть многих обозначений - разница между "OC1" и "OC2" или "I>>" и "I>"

может быть неочевидной при быстром просмотре, что неоднократно становилось причиной ошибочных настроек.

Низкая эффективность управления. Многоуровневая структура меню, требующая последовательного перехода по пунктам с помощью физических кнопок или джойстиков, существенно замедляет процесс настройки оборудования. Исследования на эту тему доказывают, что запутанная структура меню и перегруженный интерфейс являются наиболее серьезными проблемами удобства использования устройства [4]. Эксперименты показывают, что, с точки зрения производительности и удовлетворенности пользователя, древовидная структура меню лучше, чем линейная структура, а иерархическое меню с двумя ветвями способствует лучшей производительности, чем иерархическое меню с тремя ветвями [4].

Эти системные недостатки современных интерфейсов РЗА не только снижают эффективность работы персонала, но и создают потенциальные риски для надежности энергосистем в целом. Решение указанных проблем требует комплексного подхода, сочетающего современные принципы эргономики с учетом специфики работы в условиях энергетических объектов.

Преимущества модернизированных интерфейсов в релейной защите. Совершенствование интерфейсов человек-машина в устройствах релейной защиты открывает значительные возможности для повышения эффективности работы энергосистем. Современные исследования и практический опыт демонстрируют несколько ключевых направлений, где оптимизация взаимодействия оператора с оборудованием дает ощутимые результаты.

Традиционные текстовые меню, характерные для многих терминалов РЗА, требуют от оператора запоминания сложных аббревиатур и многоуровневой навигации. В то же время, внедрение графических элементов, таких как пиктограммы и цветовая индикация, значительно упрощает восприятие информации. В статье «The effects of representation of industrial icons on visual search performance» представлен эксперимент с анализом движений глаз для исследования влияния визуальных представлений промышленных иконок на производительность поиска [5]. Результаты данного исследования показывают, что оптимальными являются иконки инверсными цветами относительно фона, шириной линий в 1 пиксель и соотношением площади рисунка к фону в 50% [5]. Данные рекомендации ускоряют работу персонала на 20% и уменьшают количество ошибок при выборе пунктов меню на 40%.

Классические интерфейсы с кнопочным управлением зачастую замедляют работу оператора, особенно в аварийных ситуациях, когда важна каждая секунда. Альтернативой могут стать сенсорные экраны, чья эффективность подтверждена практическими испытаниями. Так, тестирование времени выполнения задач показало, что использование сенсорных экранов ускоряет навигацию в меню на 50% [7]. Такой метод, при выполнении простых задач, не ухудшает коэффициент ошибочных действий. Однако, многие производители отказываются от сенсорных панелей из-за их низкой стойкости к электромагнитным полям, но современные технологии, такие как резистивные экраны, защищённые от электромагнитных помех, позволяют использовать сенсорное управление даже в высоковольтных подстанциях.

Дополнительные возможности открываются с внедрением инновационных решений, таких как голосовое управление и дополненная реальность. Подобные разработки пока не получили массового распространения, но их потенциал в контексте сложных энергетических систем очевиден.

Таким образом, переход к более современным интерфейсам в устройствах РЗА – это не просто вопрос технологической моды, а практическая необходимость. Грамотная визуализация, оптимизированное управление и перспективные методы взаимодействия способны существенно повысить надёжность работы энергосистем, снизить нагрузку на персонал и минимизировать влияние человеческого фактора.

Оптимизация интерфейсов человек-машина для релейной защиты – это важный фактор для повышения надёжности энергосистем. Внедрение ассоциативной графики и адаптированных сенсорных технологий позволяет снизить количество ошибок из-за человеческого фактора, ускорить обучение новых специалистов и повысить скорость реакции при аварийных ситуациях.

Внедрение современных эргономичных решений, учитывающих специфику эксплуатации в высоковольтных условиях, не только улучшит пользовательский опыт, но и повысит общую безопасность энергообъектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев, М. Ю. Человеческий фактор в энергетике: учебное пособие / М. Ю. Зайцев. – Москва: Изд-во МЭИ, 2019. – 184 с.

2. Кузнецов, А. П. Надежность электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов / А. П. Кузнецов. – Москва: Юрайт, 2023. – 274 с.

3. Ketong Y., Jiang S., Zhendong Z., Kun Z., Jun Y., Fangyuan Tian Display interface design for rollers based on cognitive load of operator // Journal of the Society for Information Display. - 2021. - №29. - С. 659-672.

4. Fan M., Jia Z. The Influence of Menu Structure and Layout on Usability of Smartwatches // International Journal of Mobile Human Computer Interaction. - 2018. - №10. - С. 1-22.

5. Jiang S., Yuhua Z., Hui Z., Mingming Z., Lang Q., Shangxin T., Hongwei Q. The effects of representation of industrial icons on visual search performance // Displays. - 2024. - №82. - С. 1-22.

6. Tuomo K., Pertti S. Effects of menu structure and touch screen scrolling style on the variability of glance durations during in-vehicle visual search tasks // Ergonomics. - 2011. - №54. - С. 716-748.

7. Faren H., Tai W., Fei F., Cong S. The influence of tactile feedback in In-vehicle central control interfaces on driver emotions: A comparative study of touchscreens and physical buttons // International Journal of Industrial Ergonomics. - 2024. - №101

УДК 620.93

Миниханова А.Р.

Научный руководитель: Сироткина Л.В., канд. хим. наук, доц.
*Казанский Государственный Энергетический Университет,
г. Казань, Россия*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА НА АЭС

В условиях глобального стремления к снижению углеродных выбросов и переходу на чистые источники энергии важно рассмотреть перспективные технологии производства водорода. Атомные электростанции могут сыграть важную роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивости, особенно в сочетании с возобновляемыми источниками. Интеграция технологий получения водорода на АЭС открывает новые горизонты для реализации гибридных энергетических систем, что позволяет не только оптимизировать использование ресурсов, но и повысить надежность энергоснабжения. Изучение эффективности таких систем становится ключевым аспектом для разработки устойчивых стратегий энергетической политики и для достижения целей в области охраны

окружающей среды [1].

Производить водород на атомной станции возможно за счет ночной избыточной электроэнергии. Расположив водородный энергетический комплекс рядом с АЭС, возникает возможность зарядки по себестоимости её электроэнергии с электролизным производством водорода и кислорода. Выработанные водород и кислород могут быть использованы для производства электроэнергии в пиковых режимах либо реализованы как товарная продукция.

Существуют следующие способы производства водорода на атомной электростанции: высоко- и низкотемпературный электролиз воды; паровая конверсии метана; термохимические процессы на высокотемпературных реакторах; пиролиз [2].

В основном более 95% мирового получения водорода основано на паровой конверсии метана. На промышленности преимущественно получают «серый» водород. Однако наиболее перспективным методом является электролиз воды. В первую очередь обусловленный своей экологичностью (получаем «зеленый» водород).

Электролиз основан на использовании постоянного электрического тока для химического расщепления воды на водород и кислород. Практически все атомные станции Российской Федерации оснащены электролизными установками. Получаемый водород используется для охлаждения генераторов на АЭС [3].

На атомной станции могут использоваться следующие типы электролизёров для производства водорода: щелочные электролизеры (водно-щелочные) [4]; твердополимерные электролизеры (электролизеры с протонообменной мембраной – PEM); твердооксидные электролизеры (SOE).

Щелочные электролизеры являются наиболее широкоприменяемыми (низкотемпературный электролиз воды). Используют водный раствор щелочных электролитов, таких как гидроксид натрия или калия. Преимущества: низкая стоимость, простота конструкции [5].

Твердополимерные электролизеры (низкотемпературный электролиз воды) используют полимерные мембраны для проведения протонов, что позволяет эффективно разделять водород и кислород из воды [5]. Твердополимерные электролизеры обладают высокой энергетической эффективностью благодаря низким потерям энергии, а также обеспечивают долговечность и устойчивость к агрессивной среде, что увеличивает срок службы оборудования. Недостатки: электролизеры требуют более высоких затрат на материал электрода.

Твердооксидные электролизеры (высокотемпературный

электролиз воды) работают при высоких температурах и используют оксидно-ионные проводящие материалы для электролиза.

Таблица – Типы электролизеров для АЭС. Сравнительный анализ

Показатель	Водно-щелочные электролизеры	Твердополимерные электролизеры	Твердооксидные электролизеры
Эффективность, %	60-90	60-90	80-90
Рабочая температура, °С	30-80	20-80	500-900
Рабочее давление, бар	1-30	<70	~1
Рабочее напряжение, В	1,5-2,5	0,8-1,5	1,0-1,5
Плотность тока, А/см ²	0,1-0,5	0,2-1,5	0,1-0,5
Катод	нержавеющая сталь с никелевым покрытием	из платины (Pt) или платиносодержащих сплавов	из пористых материалов на основе никеля (Ni)
Анод	никелированная нержавеющая сталь	из иридия (Ir) или родия (Rh)	из катализаторов на основе перовскитов
Мембрана	пористая сепарационная мембрана из полимерных материалов (например, полипропилен)	твёрдофазная ионнообменная мембрана	твёрдооксидный керамический электролит на базе оксида циркония (ZrO ₂), стабилизированного иттрием (Y)
Стоимость электрода, \$	< 50	> 500	> 500
Масса, кг	> 100	< 50	> 100
Производители	Россия Германия Норвегия Франция	Россия США Великобритания Канада	США Великобритания Германия
Потребляемое количество электроэнергии, кВт·ч	4-5	4-6	3-4
Количество получаемого	1		

Показатель	Водно-щелочные электролизеры	Твердополимерные электролизеры	Твердооксидные электролизеры
водорода, куб.м/час			

Для сравнения потребляемого количества электроэнергии при производстве водорода разными электролизными установками было принято количество получаемого водорода 1 куб.м/час.

Как видно из таблицы, твердооксидные электролизеры показывают наилучшие результаты по эффективности потребления электроэнергии, в то время как водно-щелочные и твердополимерные электролизеры имеют схожие показатели, но с немного более высоким расходом энергии.

Высокотемпературный электролиз имеет потенциал для эффективного производства водорода с использованием избыточной энергии от ядерных энергетических установок.

Преимущества твердооксидных электролизеров:

- высокая эффективность;
- благодаря работе при высоких температурах твердооксидные электролизеры требуют меньше электроэнергии, так как часть энергии поступает в виде тепла; это снижает общие затраты на производство водорода;
- производства водорода высокой чистоты без дополнительной очистки.

Недостатки твердооксидных электролизеров:

- сложность технологии;
- высокие температуры и агрессивная среда могут привести к быстрому износу и коррозии материалов, что увеличивает затраты на обслуживание и замену;
- нет производителей твердооксидных электролизеров в России;
- работа на высоких температурах создает дополнительные риски, связанные с безопасностью.

Таким образом, несмотря на потенциально низкие эксплуатационные расходы, твердооксидные электролизеры остаются дорогими в производстве и требуют значительных инвестиций в разработку технологии.

Использование ядерной энергетики в производстве водорода на текущий момент ограничивается не только технологическими сложностями, но и вопросами безопасности [6].

Требуется дополнительные исследования, модернизация существующего технического и технологического оснащения станций.

Производство водорода на АЭС имеет потенциал, но требует внимательного изучения с точки зрения эффективности, безопасности и экономических затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миниханова А.Р. Перспектива стабильности водородной энергетики // XXVIII Всероссийский аспирантско-магистерской научный семинар, посвященный дню энергетика. ТОМ 3. - Казань: КГЭУ, 2024. - С. 579-582.

2. Романов А.С. Водородная энергетика: сравнительный анализ способов получения водорода // Научные записки молодых исследователей. - 2023. - №3. - С. 73-80.

3. Трубило В.С. Производство водорода на атомных электрических станциях // Теплоэнергетика и теплотехника: материалы 79-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетика». - Минск: БНТУ, 2023. - С. 96-99.

4. Nadaleti W. C., de Souza E. G., de Souza S. N. M. the potential of hydrogen production from high and low-temperature electrolysis methods using solar and nuclear energy sources: The transition to a hydrogen economy in Brazil // International Journal of Hydrogen Energy. - 2022. - №82. - С. 34727-34738.

5. Миниханова А.Р. Низкотемпературный электролиз на АЭС // XXVIII Всероссийский аспирантско-магистерской научный семинар, посвященный дню энергетика. ТОМ 2. - Казань: КГЭУ, 2024. - С. 111-114.

6. Rasul M. G. The future of hydrogen: Challenges on production, storage and applications // Energy Conversion and Management. - 2022. - №10. - С. 116326.

УДК 620.93

Миниханова А.Р.

Научный руководитель: Закиров Р.Н., канд. техн. наук, доц.

Казанский Государственный Энергетический Университет,

г. Казань, Россия

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА НА АЭС: ЭЛЕКТРОЛИЗ ИЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В последние годы вопрос производства водорода становится всё более актуальным, особенно в контексте устойчивого развития и

перехода к чистой энергетике. Атомные электростанции (АЭС) могут значительно способствовать этому процессу за счет использования различных технологий для получения водорода. АЭС обладают значительным потенциалом для крупномасштабного производства «чистого» водорода благодаря низкоуглеродной генерации [1].

Основные методы получения водорода на АЭС включают в себя: высоко- и низкотемпературный электролиз воды; паровая конверсии метана; термомеханические (термохимические) процессы на высокотемпературных реакторах; пиролиз [2].

В данной работе будут рассмотрены наиболее перспективные методы получения водорода: электролиз и термомеханические методы.

Электролиз воды, один из наиболее распространенных методов, позволяет разделить молекулы воды на водород и кислород при помощи электрического тока (процесс диссоциации воды). АЭС могут использовать электроэнергию, вырабатываемую в процессе ядерного деления, что делает данный метод особенно привлекательным.

Производить водород на атомной станции возможно за счет ночной избыточной электроэнергии. Расположив водородный энергетический комплекс рядом с АЭС, возникает возможность зарядки по себестоимости её электроэнергии с электролизным производством водорода и кислорода [3]. Выработанные водород и кислород, могут быть использованы для производства электроэнергии в пиковых режимах работы атомной станции (дневное время).

Однако, стоимость электролизного оборудования может быть относительно высокой, а эффективность процесса зависит от доступности и стоимости электроэнергии.

Преимущества электролиза:

- низкотемпературные режимы (80–120°C) для стандартного электролиза, что упрощает интеграцию с существующими реакторами. На сегодняшний день практически все атомные станции Российской Федерации оснащены водно-щелочными электролизными установками (низкотемпературные электролиз);

- высокая чистота получаемого водорода (до 99,9%);
- гибкость: электролизеры с протонообменными мембранами (высокотемпературный электролиз) могут работать в переменном режиме, адаптируясь к нагрузке АЭС.

Термохимические процессы на высокотемпературных реакторах представляют собой перспективный подход к производству водорода, используя высокую температуру от ядерной реакции на АЭС [4]. Для производства водорода предлагается использовать тепло, выделяемое высокотемпературными газоохлаждаемыми ядерными реакторами

(ВТГР). Эффективность метода достигается за счет того, что, с одной стороны, АЭС обеспечивают одну из самых низких себестоимостей выработки электроэнергии, а с другой – за счет использования тепла, которое в обычном режиме работы атомной станции не имеет полезного применения и сбрасывается в теплообменник.

Основной принцип работы заключается в нагреве рабочего тела до высоких температур, после чего начинают происходить химические реакции, приводящие к образованию водорода. В серно-йодном цикле вода разлагается на водород и кислород при температуре около 700-1000°C. Такой уровень температуры позволяет значительно снизить энергетические затраты по сравнению с традиционным электролизом [5].

Преимущества термомеханических методов:

- высокий КПД: термомеханические процессы могут быть на 20-30% эффективнее электролиза;
- меньшие затраты электроэнергии: основная энергия берется из тепла, а не электричества.

Также тепло, выделяемое ВТГР, может использоваться для снижения расхода метана в процессе парового риформинга. В частности, использование внешнего источника тепла позволяет снизить расход газа на нагрев, необходимый для поддержания реакции. Для реализации таких технологий необходимо создать ядерный реактор с температурой нагрева теплоносителя выше 850 °С.

Однако есть и ограничения термомеханического метода: это сложность технологического оборудования, требования к его надежности и безопасности работы на высоких температурах. На сегодняшний день ректоры ВТГР находятся только на этапе разработки. Необходимы дополнительные исследования и испытания для оптимизации этих процессов и их внедрения на коммерческих масштабах. Коммерческое внедрение серно-йодного цикла ожидается не ранее 2030-х годов.

В заключение, выбор между электролизом и термомеханическими методами зависит от множества факторов, включая экономические условия, доступность ресурсов и потребности в водороде. Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки, имеют право на свое развитие. В краткосрочной перспективе метод электролиза наиболее реален.

Термомеханические технологии требуют дополнительные исследования для коммерциализации, однако термомеханические методы могут стать ключевыми игроками при внедрении в эксплуатацию реакторов ВТГР в долгосрочной перспективе. Для достижения углеродной нейтральности критически важно развивать оба

направления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миниханова А.Р. Перспектива стабильности водородной энергетики // XXVIII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. ТОМ 3. - Казань: КГЭУ, 2024. - С. 579-582.

2. Романов А.С. Водородная энергетика: сравнительный анализ способов получения водорода // Научные записки молодых исследователей. - 2023. - №3. - С. 73-80.

3. Трубило В.С. Производство водорода на атомных электрических станциях // Теплоэнергетика и теплотехника: материалы 79-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетике». - Минск: БНТУ, 2023. - С. 96-99.

4. Аминов Р., Байрамов А. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями. - М.: Саратовский научный центр РАН, 2016. - 254 с.

5. Рудаков, Н.Д. Черенкевич, И.Г. Высокотемпературные реакторы с газовым охлаждением // Теплоэнергетика и теплотехника [Электронный ресурс]: материалы 80-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы устойчивости». - Минск: БНТУ, 2024. - С. 28-31.

УДК 338

Монастырский И.Э.

Научный руководитель: Трофимова Т.В., канд. экон. наук, доц.

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте Российской Федерации, г. Нижний Новгород, Россия

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В условиях экономической неопределенности особую актуальность приобретает анализ региональной электроэнергетической инфраструктуры, включая оценку её технико-экономического состояния и разработку управленческих решений для преодоления кризисов, и развития энергосистем. Региональные энергосистемы являются ключевыми объектами, чье развитие напрямую влияет на устойчивость экономики, качество жизни и состояние окружающей

среды, что подчеркивает их роль в решении комплексных задач современности.

Энергосистема Нижегородской области входит в состав объединенной энергетической системы Средней Волги, располагающейся на территории Приволжского федерального округа. Среди энергоресурсов региона доминирующую позицию занимает электроэнергия.

Учитывая ключевую роль электроэнергии в структуре региональных ресурсов, анализ динамики её потребления позволяет оценить не только текущее состояние энергосистемы, но и выявить тенденции, отражающие взаимодействие экономических, социальных и экологических факторов, влияющих на энергетику. Рассмотрим динамику потребления электрической энергии в Нижегородской области за 2020-2024 годы, представленные в таблице 1.

Максимум потребления электрической мощности энергосистемы региона отражает наибольший уровень мощности, которую потреблял регион за определённый период.

Таблица 1 - Динамика изменения собственного максимума потребления электрической мощности и потребления электрической энергии в Нижегородской области

Показатель	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Потребление, МВт	3055,43	3364	3156	3301	3349
Абсолютный прирост максимума потребляемой электрической мощности, МВт	-	308,57	-208	145	48
Среднегодовые темпы прироста, %	-	10,09	-6,18	4,59	1,45
Потребление электрической энергии, млн кВт·ч	19482	20792	20075	20429,4	21068
Абсолютный прирост потребления электрической энергии, млн кВт·ч	-	1310	-716,98	354,46	638,52
Среднегодовые темпы прироста, %	-	6,7	-3,4	1,75	3,1

Число часов использования максимума потребляемой электрической мощности, ч	6376	6181	6361	6263	6370
--	------	------	------	------	------

Максимум потребления электрической мощности в 2024 году составил 3349 МВт. За весь период наблюдается рост максимума потребления электрической мощности и постоянный рост потребления электрической энергии, максимум в 2024 году составил 21068 млн кВт·ч, что свидетельствует о постоянно увеличивающейся нагрузке на энергетическую отрасль региона.

На территории Нижегородской области осуществляют деятельность достаточно крупные потребители электрической энергии, данные по электропотреблению и максимальной нагрузке на сеть этих предприятий представлены в таблице 2. Среди них доминируют промышленные предприятия, в том числе – предприятия обрабатывающей промышленности, предприятия химии и нефтепереработки, целлюлозно-бумажных производств, а также транспортного машиностроения и связанных с ним производств, включая предприятия оборонно-промышленного комплекса и металлургии.

Таблица 2 - Потребление электрической энергии и фактические значения максимального потребления электрической мощности крупных потребителей электрической энергии Нижегородской области

Наименование потребителя	Электропотребление, млн кВт·ч		Максимум фактической нагрузки, МВт	
	2023	2024	2023	2024
ООО «ЛукойлНижегороднефтеоргсинтез»	1024,45	1196,5	131	153
ОАО «РЖД»	733,69	836,55	107	122
ООО «Автомобильный завод «ГАЗ»	1273,48	1275,42	140	140
ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»	2701,51	1687,39	309	193
АО "Волга" (г. Балахна)	816,57	906,37	115	115

ОАО «Верхневолжскнефтепровод» ДО ОАО "АК "Транснефть" (ЭП по Нижегородской области)	464,48	425,51	67	62
АО «СибурНефтехим»	188,86	242,12	25	41
АО «Выксунский металлургический завод»	2856,13	2902,39	310	310
ООО «РусВинил»	1062,18	839,89	133	98
ОАО «Эй Джи Си БСЗ»	185,86	187,43	24	26

Рассмотрев динамику потребления электроэнергии крупных промышленных предприятий можно сделать вывод о том, что предприятия совместно потребляют около трети от потребления электроэнергии всего региона и играют ключевую роль в энергобалансе региона. Развитие промышленности и ввод новых предприятий в регионе создают повышенную нагрузку на энергосети, что делает критически важным укрепление устойчивости энергетической инфраструктуры и привлечение финансирования для её обновления. Промышленные предприятия остаются основными драйверами энергопотребления, и напрямую влияют на энергетическую стратегию региона. [1]

Рассмотрим характеристику баланса электрической энергии в Нижегородской области 2020-2024, данные представлены в таблице 3.

Баланс электрической энергии и мощности — это основной элемент стабильности энергосистемы, обеспечивающий соответствие между производством и потреблением электроэнергии.

Таблица 3 - Фактические балансы электрической энергии в Нижегородской области

Показатели	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Потребление электрической энергии, млн кВтч (П)	19482	20792	20924	21875	22815
Выработка, млн кВтч (В), в том числе по видам электростанций:	11015	10870	10269	11194	11320
ТЭС	2355	9073	8767	9681	9807
ГЭС	8660	1797	1502	1513	1513
Сальдо перетоков	8468	9922	10655	10681	11495

электроэнергии, млн кВтч (П-В)					
-----------------------------------	--	--	--	--	--

Рассмотрев Баланс электрической энергии энергосистемы Нижегородской области можно сделать вывод, что Нижегородская область сталкивается с растущим дисбалансом между потреблением и выработкой электроэнергии, который покрывается за счет перетоков электроэнергии и мощности по межсистемным линиям электропередачи из смежных энергосистем. Несмотря на колебания в структуре генерации, зависимость от импорта электроэнергии усиливается, что требует стратегических решений для обеспечения энергобезопасности региона.

Анализ сложившейся ситуации в энергетическом комплексе Нижегородской области показывает, что угрозы надежному энергообеспечению существуют. Сложившаяся ситуация требует детального рассмотрения, так как данные проблемы потенциально могут создать препятствия для устойчивого социально-экономического развития области в средне- и долгосрочной перспективе.

В первую очередь к таковым можно отнести низкую энергодостаточность региона, а также ограничения по пропускной способности и недостаточное развитие системы электрических сетей.

Нижегородская область не обладает достаточным количеством собственных генерирующих мощностей. Отсутствие крупных электрогенерирующих установок (более 1000 МВт) и собственных запасов традиционных видов топлива делает регион зависимым от поставок электроэнергии из Единой энергосистемы России. Подобная зависимость от внешних источников, в свою очередь, влечет за собой не только рост себестоимости энергоресурсов за счет включения в конечную цену транспортных издержек, но и формирует риски возникновения дефицита электроэнергии в периоды максимального потребления, например, в условиях экстремальных температурных колебаний.

Отдельного внимания заслуживает вопрос эксплуатации электросетевого оборудования. Сильная изношенность энергосетевого оборудования неизбежно приводит к увеличению частоты аварийных отключений, основной причиной которых, как правило, становится несоответствие устаревшего оборудования современным стандартам надежности, а также общее ухудшение технического состояния линий электропередачи. [2]

Необходимо подчеркнуть, что процесс обновления оборудования энергетического комплекса, требует существенных финансовых вложений. Однако, объем инвестиций, направляемых на модернизацию

и замену устаревших мощностей, остается недостаточным, что, в свою очередь, приводит к прогрессирующему физическому износу инфраструктуры, повышению рисков аварийных ситуаций и снижению показателей эксплуатационной готовности. [3]

В контексте социально-экономического развития Нижегородской области важно отметить, что активное развитие промышленного сектора и социальной сферы, а также реализация инвестиционных проектов с участием внешних и внутренних инвесторов оказывает положительное влияние на поступательное развитие экономики региона в целом. Данные процессы, безусловно, обладают значительным социально-экономическим эффектом, который выражается, в частности, в увеличении объемов налоговых отчислений в бюджеты, формировании новых рабочих мест для населения региона и других аспектах. [4]

С учетом вышеизложенного, первоочередной задачей является обеспечение энергетическими ресурсами активно динамично развивающихся промышленных предприятий и объектов социальной инфраструктуры. При этом важно учесть, что сама энергетическая отрасль также нуждается в дополнительных инвестициях — например, в строительство современных генерирующих мощностей, что, несомненно, будет способствовать укреплению экономического потенциала Нижегородской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин Г.С., Скобелев Д.О. Индикаторы устойчивого развития промышленности: региональные аспекты. Позиция нижегородской области // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: социальные науки. - 2021. - №2.

2. Соколов М. Энергоемкость экономики России и основные направления по ее сокращению // Энергетическая политика. - М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, 2023.

3. Дьячков А. Г., Сурнина Н. М., Шишкина Е. А. Региональная инвестиционная политика развития энергетики в условиях новой индустриализации // Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение. - Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2016.

4. Домников А.Ю., Домникова Л.В. Развитие региональной электроэнергетической инфраструктуры в контексте технологической модернизации. - Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2022.

Мукенге Д. Ч.

*Научный руководитель: Трубаев П.А, д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В физике энергия – это фундаментальная величина, служащая для количественной оценки всех видов преобразований системы. Она обнаруживается в виде тепла, механической работы, вызывающей движение, электромагнитного излучения, химических изменений (на молекулярном уровне) или ядерных реакций (в масштабах атомных ядер) [0].

С точки зрения физики, энергия ниоткуда не берется и никуда не девается, она лишь переходит из одного вида в другой. Оказание услуги (перевозка, освещение, обогрев и т. д.) подразумевает преобразования, следовательно, и затраты энергии. Энергия преобразуется с помощью преобразователя, вид которого зависит от предоставляемой услуги; преобразователем может быть электро- или тепловой двигатель, лампа или котел [0].

Энергоэффективность — это соотношение полезной энергии, которую мы получаем для выполнения какой-либо работы, к затраченной энергии, которая была израсходована для этой цели.

Энергоэффективность – это показатель потребления энергии, необходимой для предоставления услуги, с целью его минимизации за счёт использования более эффективных технологий [2].

В основном, услуги связаны с преобразованием конечной энергии – формы энергии, которая продаётся и непосредственно потребляется. Конечная энергия создаётся из первичных ресурсов.

Исходные энергетические ресурсы существуют в природе в сыром виде и делятся на две группы: исчерпаемые запасы (ископаемое топливо и ядерное горючее) и возобновляемые источники. Конечные формы энергии могут быть использованы напрямую в потребителях. Полезная энергия соответствует требуемым энергетическим сервисам [2].

Мы часто говорим о производителях энергии (имеются ввиду конечные) и потребителях конечной энергии. Это потребительский взгляд на преобразование энергии, но на самом деле всегда речь идет о

преобразовании энергии. Однако представляется разумным разделять эффективность, рассматривая её с двух сторон:

- производство конечной энергии из первичных ресурсов;
- конечное использование энергии для предоставления услуг.

В рамках этих процессов задействовано несколько преобразователей энергии. Например, для выработки электричества из не возобновляемых ресурсов (ископаемых или расщепляющихся) необходимы:

- добыча полезных ископаемых с применением машин, работающих на конечной энергии (жидкое углеводородное топливо, электроэнергия т. д.);

- преобразования руды в сырьё (сталь, медь, редкоземельные металлы и т.д.) при помощи промышленных методов, включающих различные конвертеры;

- перевозка и переработка для получения топлива нужного качества;

- и, наконец, конечное преобразование топлива в электрическую энергию с использованием горелок, турбин, генераторов, трансформаторов...то есть, всех преобразователей энергии [2].

Услуга, касающаяся пробега автомобиля, тоже требует комплекса преобразователей энергии. Прежде всего, производство машины, от добычи сырья до его переработки по завершении срока службы. Затем, во время эксплуатации, когда конечная энергия потребляется через двигатель в зависимости от габаритов автомобиля и стиля вождения водителя.

Поэтому вопросы энергоэффективности преобразователей являются ключевыми, когда речь идёт об энергоэффективности [2].

Солнечная энергетика—область науки и техники, которая занимается разработкой научных основ, методик и технических средств применения солнечной энергии на Земле и в космосе для получения электричества, тепла и иных видов энергии, а также устанавливает пути и объёмы целесообразного использования солнечной энергии в экономике страны [3].

Из всех способов применения солнечной энергии, фотоэлектрические элементы, скорее всего, самые узнаваемые. Эта технология использует солнечный свет для его прямого превращения в электричество. Французский физик Антуан-Сезар Беккерель впервые заметил фотоэлектрический эффект в 1839 году, когда проводники создавали ток под воздействием света (фотонов). Суть в следующем: столкновение фотона с полупроводником порождает положительные и отрицательные электрические заряды, которые дают слабый ток.

Одним из основных плюсов фотоэлектрических солнечных панелей—их универсальность. Их можно разместить практически, где угодно, и производить электроэнергию там, где она нужна. Так устраняются неудобства, связанные с передачей энергии на дальние расстояния.

Применение фотоэлектрической солнечной энергии особенно целесообразно для энергоснабжения домов, удалённых от электрических сетей. Установка солнечных панелей, соединённых с аккумуляторами для обеспечения энергетической независимости, в таком случае становится экономически выгоднее, чем подключение к сети, стоимость которого может составлять 500 - 1000 тыс. руб. за километр [0].

Отличный метод использования солнечной энергии — это монтаж солнечных панелей и коллекторов, где циркулирует теплоноситель, на крыше [5]. Благодаря эффективности до 70% этот способ способен покрыть 60% годовой потребности семьи в горячей воде. Экономия средств тоже значительна. Стоимость приобретения и установки солнечной системы варьируется сейчас от 460 до 850 тыс. руб. Долговечность системы сравнима с другими моделями, описанными в последующих разделах. Солнечный водонагреватель прост в обслуживании, требуется лишь периодическая замена теплоносителя [0]. Важным элементов СЭС является оптимальный выбор азимута и угла наклона панелей [6].

Электричество, которое можно получить от солнечного света, производится двумя способами: термодинамической солнечной энергией более эффективной фотоэлектрической солнечной энергией. Фотоэлектрические панели находят широкое применение. Некоторые страны, например Германия, используют солнечные панели для производства электроэнергии.

Солнечная энергия в основном применяется для питания объектов, расположенных вдали от электросетей, подключение к которым дорого обходится. Она способна обеспечить от 25 до 75% потребностей в электроэнергии энергоэффективного дома. Для полного удовлетворения потребностей потребуется другой источник энергии [0].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Multon, B. Efficacité énergétique / B. Multon. – Roscoff: Ecole Energie et recherches, 2018. – 21 p.
2. Multon, B. Efficacité énergétique : aspects physiques et

technologiques de la conversion d'énergie [Сайт] / В. Multon: HALL, 2014. URL: <https://cel.hal.science/cel-01246807> (дата обращения: 10.04.2025). – Режим доступа: свободный.

3. Виссарионов, В.И. Солнечная Энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 317 с.

4. Funk, D. Energie solaire : Circonstances et conditions d'exploitation / В. Multon. – Sherbrooke : Université de Sherbrooke, 2010. – 78 p.

5. Опыт энергосбережения при индивидуальном жилищном строительстве в Западной Европе / А.А. Власова, П.Н. Тарасюк, В.В. Сухорослова, П.А. Трубаев // Фундаментальные исследования в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – С. 21-24.

6. Рычков, В.В. Оценка величины вырабатываемой электроэнергии солнечными электростанциями в Белгородской области / В.В. Рычков, Е.И. Солдатенкова, П.А.Трубаев // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 138-141.

УДК 699.86

Мукенге Д.Ч.

Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СПОСОБЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Аккумуляция энергии – это важнейший аспект современных энергетических систем, который становится все более актуальным в свете нарастающих вызовов, связанных с устойчивостью и эффективностью энергоснабжения. В мире, где потребление энергии постоянно растет, а необходимость в переходе к более чистым источникам становится неотъемлемой, аккумуляция как тепловой, так и электрической энергии играет важнейшую роль в обеспечении надежности и экологической устойчивости энергетических систем.

На мировых электроэнергетических рынках наблюдаются беспрецедентные перемены в методах генерации, оборота и потребления энергии. Эта динамика также подстегивает новаторство в технологическом планировании, финансировании и юридической организации электросетей. Принимая во внимание совокупное влияние растущего интереса к доступу к энергии, снижающихся цен на возобновляемые источники, повышенного внимания к

энергосбережению и беспокойств по поводу изменения климата, текущий энергетический переход представляет собой одновременно и вызов, и перспективу для различных участников энергетического рынка [1].

Накопление энергии является одним из ключей к будущему электроэнергетического сектора, который можно сделать более гибким и предсказуемым с точки зрения эксплуатационных издержек и потоков доходов для амортизации капитальных затрат. В последние годы появилось множество технологий хранения, которые позволяют осуществлять кратковременное и скоростное хранение энергии, а также более долгосрочные применения, которые могут экономично перераспределять энергию в периоды высокого сезонного спроса, например, в жаркие летние месяцы, или низкого предложения, например, в периоды засухи. Все указывает на то, что новые технологии хранения данных будут появляться и впредь.

С распространением технологий возобновляемой энергии аккумулирование энергии тоже может сыграть свою роль в декарбонизации сетей, так как позволяет технологиям переменной возобновляемой генерации достигнуть такого уровня доли в общей электросети, какой прежде был технически невозможен. Решения по хранению энергии могут обеспечить гибкие ежедневные темпы изменения мощности для возобновляемых источников энергии, сбалансировать колебания электрической мощности во время погодных аномалий, оптимизировать выработку возобновляемой энергии для достижения максимальной отдачи в пиковые периоды и улучшить работу, когда данные решения интегрируются с существующими активами, что приносит пользу всей работе электросети [1].

Теплоаккумуляторы применяются для сбережения тепла и холода. Накопление/распределение тепла или холода может происходить прямо или косвенно. Косвенные аккумуляторы можно разделить в зависимости от физического состояния среды, накапливающей тепло. Для экономии пространства используются как жидкие, так и твёрдые носители информации. Тепловые аккумуляторы с фазовым переходом, известные как аккумуляторы скрытой теплоты, позволяют достигнуть особо высокой плотности энергии. Цена оборудования для систем с изменением фазы заметно выше. Аккумулирование скрытой теплоты имеет дополнительное достоинство, заключающееся в наличии изотермической температуры зарядки и разрядки, что особенно интересно в технологическом проектировании [1].

Для выполнения своих функций аккумулирования система должна иметь помимо аккумулирующих сосудов и их внутренних устройств

также и внешнее оборудование.

При тепловом аккумулировании (как в тепловых процессах промышленных установок, так и в районных отопительных системах) для зарядки и разрядки могут понадобиться насосы, теплообменники, испарители, клапаны, трубопроводы.

Для аккумулирования энергий может потребоваться даже более обширный ассортимент оборудования, и, таким образом, возникает то, что может быть включена в состав энергетической установки, может быть применена и зарядная система с отдельным преобразователем энергии, таким, как парогенератор или компрессор. Для разрядки необходимы турбина и генератор, а также теплоприемник. Нужна также контрольно-измерительная аппаратура [2].

Развитие отрасли аккумулирования энергии происходит в непростых обстоятельствах, где технические ограничения, экономические перспективы и политико-правовая обстановка переплетаются в сплав. Чтобы обозначить избыток, связанный с хранением энергии, принципиально тщательно проанализировать специфику потребностей электрических и тепловых систем.

Эти нужды делятся на несколько дифференцированных сервисов, которые может предложить накопитель энергии. В данной статье представлены сервисы, которые может предоставить накопитель энергии, потенциально обеспечивая решение данной электрической или тепловой задачи, а также каковы возможности увеличения ценности этих сервисов для каждого из возможных операторов установок накопления энергии [3].

Возможными оператором(ами) накопителя электроэнергии для данной услуги являются:

Для сохранения электроэнергии были определены такие потенциальные операторы:

- Традиционный производитель: производитель электроэнергии, применяющий ископаемые источники энергии обычные (атомные, газовые, угольные, мазутные).

- Прерывистый производитель: производитель электроэнергии, за действующий источники энергии прерывистый (солнечный, ветровой).

- Менеджер по транспортировке: менеджер сети передачи электроэнергии.

- Менеджер по распределению: менеджер сети распределения электроэнергии.

- Потребитель энергии: конечный пользователь электроэнергии, индивидуальный, третичный или промышленный.

- Независимое хранение: оператор накопителя электроэнергии,

автономный от производителя и потребителя, упомянутые выше (не претендующие быть чистыми производителями) или чистый потребитель электроэнергии) [3].

Для аккумулирования тепла были выбраны следующие потенциальные операторы:

- Производитель тепловой энергии: оператор генерирующих тепло средств или холода, он может отличаться или не отличаться от сетевого управляющего в зависимости от генерирующих средств заинтересованный.

- Сетевой управляющий: сетевой оператор, полномочия которого обычно делегируются местным сообществом. Он также может удерживать часть или все средства генерирования тепла или холода.

- Потребитель: управляющий зданиями, присоединенными к теплосети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Badissy, M. Comprendre le stockage d'Énergie / M. Badissy. – Power Africa: Stockage d'Énergie. – 167 p.

2. Бекман, Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

3. Nicolas, J. Le stockage thermique : Etat de l'art / J. Nicolas. – Fondation Université luxembourgeoise : Programme National RD energie, 1987. – 227 p.

4. Жилин, Е. В. Перспективы применения накопителей электроэнергии в энергетических системах / Е. В. Жилин, С. В. Долгаль, А. Д. Малышева // Энергетические системы. – 2023. – № 3. – С. 32-41.

УДК 699.86

Мукенге Д. Ч.

*Научный руководитель: Трубаев П. А, д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В последнее время на многих промышленных предприятиях обсуждается важность экономии энергии повышения энергоэффективности. Можно составить электрический баланс, позволяющий оценить степень полезного использования активной и

реактивной мощности, потребляемой отдельными агрегатами, группами агрегатов, цехами или целыми предприятиями. Особый интерес представляет потребление энергии ключевыми техническими процессами [1].

Машиностроение включает себя множество устройств, оборудования и систем, которые работают от электрических приводов:

- станки;
- автоматизированные машины и роботы;
- упаковочные машины: печать, резка, обертывание;
- производственные машины всех видов: бумажные, пищевые, химические и т. д [2].

Развитие всех этих машин было обусловлено, прежде всего, в внедрением числового программного управления. Это накладывает новые ограничения на электроприводы [2]:

- более высокая эксплуатационная гибкость, включая более высокую динамику и управление в более широком диапазоне скоростей;

- более высокие требования к позиционированию;
- лучшая интеграция в обучаемые органы;
- повышенная надежность, что означает более длительный срок службы двигателя.

С точки зрения экономии энергии, основными аспектами, которые необходимо рассмотреть, являются:

- адаптация к функциям обучения, особенно в отношении трансмиссий и двигателей;
- выбор источников питания, которые могут снизить потери при запуске и торможении;
- для приводов периодического действия - оптимизация процесса [2].

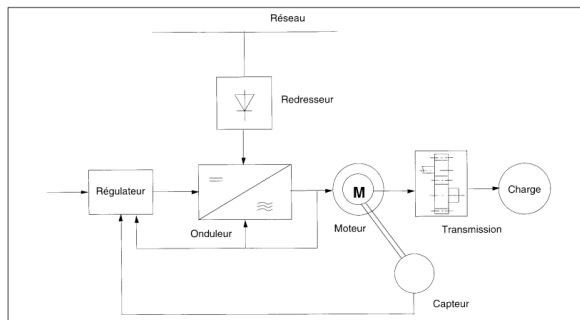


Рис. 1 Компоненты электропривода

Адаптация привода к нагрузке особенно важна для оборудования большим количеством колебаний, как циклических, так и нециклических. Прежде чем выбрать двигатель, необходимо грамотно подобрать и рассчитать размеры нескольких периферийных устройств. Для пояснения терминов см. рис. 1: основные компоненты для хорошего энергетического баланса: - кондукторная передача - двигатель - тип источника питания - система управления [2].

Экономия энергии может быть связана с несколькими аспектами цепочки «электропривод-трансмиссия-машина- технологический процесс». Основными аспектами здесь являются:

- комбинации двигателя и источника питания;
- системы управления;
- согласование привода и машины (передача) - процессы.

При общей оценке необходимо также учитывать концепцию «серой энергии» [2].

Электропривод — это система электромеханического преобразования с помощью двигателя или инвертора, включающая все периферийные устройства, необходимые для передачи, питания и управления. Электропривод характеризуется концепцией системы, а не отдельного двигателя. Качество этой системы зависит в первую очередь от стоимости самого слабого компонента. Электропривод должен быть адаптирован к рассматриваемому применению с помощью некоторых своих компонентов. Если привод (насос, машина, плоттер, периферийное устройство компьютера, робот и т. д.) не является неотъемлемой частью электропривода, его характеристики определяются спецификациями, полученными от него [3].

Развитие обучения происходит постоянно, исходя из меняющихся потребностей и требований, а также с учетом технических и

технологических инноваций. До изобретения паровой машины в качестве привода использовались только мускульная сила, гидравлическая сила и сила ветра. В целом они были ограничены по размеру и географии. С появлением парового двигателя промышленность смогла метод обучения, не зависящий от местоположения [3].

Система была централизованной, распределение энергии между небольшими машинами - механическим. Изобретение электрических машин около 100 лет назад, облегчившее транспортировку и распределение электроэнергии, дало новый толчок развитию приводной техники. Адаптивность и регулируемость электрических машин обеспечили простое подключение к машинам постоянную адаптацию к условиям эксплуатации процессов и процедур. Качество этой адаптации еще более повысилось благодаря развитию технологии статических преобразователей (электроники). Развитие этой технологии было поддержано микроэлектроникой и калькуляторами (компьютерами).

Благодаря различным возможностям двигателей и преобразователей можно создавать приводы разного качества. Целесообразно классифицировать приводы последующим типам:

- неуправляемые приводы: для постоянных нагрузок и низких требований к точности и реакции на нагрузку;
- управляемые приводы: для переменного режима работы и адаптации к различным режимам питания;
- управляемые приводы: для операций, где требуется высокая точность и адаптация к изменяющимся нагрузкам;
- целевое обучение: для задач, связанных с оптимизацией и настройкой.

Кроме того, необходимо проводить различие между индивидуальным и коллективным обучением. При таком выборе могут быть важны условия минимизации потерь и координации действий [3].

Для экономии энергии улучшения должны производиться следующем порядке:

- регулировка мощности привода в соответствии с потребностями;
- соответствие номинальной мощности потребностям;
- улучшение характеристик компонентов;
- контроль эффективности работы оборудования [4];
- оптимизация энергопотребления [5].

Потери должны быть сведены к минимуму в установившемся режиме, а потребление энергии - в нестационарном режиме. Эффективность двигателя зависит от его типа, размера и нагрузки. Этого можно избежать, используя инверторы. Рекуперация энергии

возможна только при использовании инверторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисиенко, В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справ. в 2 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – Кн. 2. – М.: Теплотехник, 2005. – 760 с.
2. Jufer, M. Electric Drive: Design Methodology / M. Jufer. – Hoboken: Wiley, 2010. – 225 p.
3. Bongard M. Economie d'Energie / M. Bongard. –Berne.: Ecole polytechnique, 1996. – 220 с.
4. Мамонтов, А.Н. Тепловизионный контроль токопроводов промышленных агрегатов / А.Н. Мамонтов, А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 8. – С. 111-118.
5. Белоусов, А.В. Комплексные меры по энергосбережению как основа современной концепции энергоэффективности // А.В. Белоусов, Ю.А. Кошлич, А.Г. Гребеник // Южно-Сибирский научный вестник. – 2015. – № 1 (9). – С. 40-45.

УДК 621.039.572

Недвига А.Г., Лупандин А.В., Иванушкин С.А.

Научный руководитель: Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

БУДУЩЕЕ ПРОЕКТА THORIUM MOLTEN SALT REACTOR

При текущем уровне потребления урана его запасов хватит на 80 – 120 лет. Такие изобретения как МОКС- или СНУП-топливо способны на какое-то время продлить существование ядерной энергетики, уменьшив расход запасов урана. Помимо экономических ценностей, новые технологии должны поднять уровень защиты и безопасности как персонала, так и населения [1-3]. В связи с этим интересным и перспективным представляется проект Thorium Molten Salt Reactor (TMSR) – ториевый жидкоколосевой реактор. Кроме того, что введение тория в энергетику сможет значительно расширить запасы ядерного топлива, также торий является «возможным решением» для пост-урановой эпохи.

Начало ториевая энергетика берёт из 1940-х годов, с открытия

Гленном Сиборгом получения урана-233 из тория в циклотроне (при нейтронной бомбардировке). Несмотря на то, что была доказана возможность ториевого цикла, проект закрыли в пользу урановых реакторов из-за ряда возникших проблем. В частности значительной коррозии конструкционных материалов в расплавленных солях и необходимости активации тория.

В настоящее время за развитие проекта TMSR отвечает Шанхайский институт прикладной физики SINAP [4]. В июне 2024 года в пустыне Гоби был запущен реактор с мощностью 2 МВт. В 2030 году планируется запуск промышленного реактора с мощностью в 100 МВт. Китайские ученые снова возродили торий-урановый ядерный цикл.

Целью данной статьи определить возможности и перспективы использования ториевого реактора на расплавах солей.

Объектом статьи являются ядерные реакторы.

Предметом статьи является проект TMSR.

Основная часть. Проект TMSR развивается в двух направлениях.

Первое направление – TMSR-LF (Thorium Molten Salt Reactor – Liquid Fuel) – жидкосолевого ториевый реактор на жидком топливе. TMSR-LF1 имеет мощность в 2 МВт и является прототипом будущих коммерческих реакторов типа TMSR-LF2 с планируемой мощностью свыше 100 МВт [5].

В качестве топлива для TMSR-LF используется ^{232}Th с небольшим количеством урана-235, уран здесь нужен для запуска цепной реакции. Работает он при температуре 700 °С, в качестве теплоносителя и жидкости охлаждения выступает расплав солей (фторидные соли). Интересным является то, что топливо в этом реакторе контактирует с теплоносителем. В некоторых аспектах он превосходит реакторы ВВЭР или РБМК.

Торий в природе встречается чаще урана и производит меньше радиоактивных изотопов при делении. Помимо этого, у TMSR-LF топливо растворено в расплаве соли, что увеличивает его устойчивость к авариям, исключая риск расплавления тепловыделяющих элементов ТВЭЛ. Также он имеет возможность онлайн-регенерации топлива, без необходимости замены ТВЭЛ.

Основной проблемой TMSR-LF являются высокие коррозионные свойства расплавов солей, поэтому ему требуется дополнительная защита трубопроводов и материалов конструкций. Помимо этого нет протоколов работы с TMSR-LF, требуются новые подходы к организации контроля его работы.

Второе направление – TMSR-SF (Thorium Molten Salt Reactor – Solid Fuel) – гибридная версия жидкосолевого ториевого реактора, в

котором топливо остаётся в твёрдой форме, а в качестве теплоносителя выступает расплав солей.

Реактор TMSR-SF1 имеет мощность в 10 МВт и является прототипом для следующего реактора TMSR-SF2 с планируемой мощностью свыше 100 МВт [6].

В отличие от TMSR-LF, TMSR-SF более прост и быстр в реализации. Помимо того, что его проще внедрить в современную инфраструктуру (использует стандартные ТВЭЛы), у него меньше проблем с коррозией, т.к. топливо не контактирует с солью напрямую. Основными его недостатками являются невозможность онлайн-регенерации топлива и риск расплавления ТВЭЛ.

TMSR-SF является компромиссным вариантом, считающим относительную простоту твёрдого топлива с преимуществами жидкосолевого охлаждения. Его можно считать промежуточным шагом между традиционными твердотопливными реакторами и чисто жидкосолевыми (TMSR-LF).

TMSR – перспективный проект, способный изменить будущее ядерной энергетики. Если удастся решить основные проблемы реактора на расплавах солей и вывести технологию на промышленный уровень, то возможна революция в мире ядерной энергетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.

2. Клименко В.Г. Технология основных материалов современной энергетики / Клименко В.Г., Володченко А. Н. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. - 183 с

3. Гасанов С.К., Клименко В.Г. Радиационно-защитный композит на основе гипсовых вяжущих и стекловидного наполнителя // В сборнике: Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: международная научно-техническая конференция. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. - С. 44-48.

4. "Brief Introduction [to SINAP, in English]". SINAP. Retrieved 19 April 2025. <http://english.sinap.cas.cn> (Дата обращения 5.5.25)

5. Status and Perspective of TMSR in China Hongjie XU, TMSR Center of CAS, SINAP PSI, Switzerland. 2017-01-24 <https://docs.yandex.ru> (Дата обращения 5.5.25)

6. Technical Meeting on the Status of Molten Salt Reactor Technology (622-I3-TM-52244), IAEA Headquarters, Vienna, Austria Thorium Molten Salt Reactors (TMSR) Development in China / Dai Zhimin, Zou Yang, Chen Kun Institute of Advanced Nuclear Energy (ANEI), CAS <https://web.archive.org> (Дата обращения 5.5.25)

УДК 621.039

Рыжков А.С., Сазонов К.С., Загуляев А.Д.

Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВИНЦА КАК ЭКРАНИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Гамма-излучение – одна из наиболее опасных форм ионизирующего излучения (ИИ), обладающая высокой проникающей способностью. Оно используется в ядерной энергетике, медицине и промышленности, где его необходимо контролировать. Надежная защита от гамма-квантов является важнейшим требованием безопасности, в связи с этим разрабатываются различные виды радиационно-защитных материалов, обеспечивающих безопасность как персонала установок, использующих различные виды ИИ, так и населения [1-20].

Поглощение энергии гамма-излучения происходит за счет трех основных процессов: фотоэффекта, комптоновского рассеяния и образования пар. Чем тяжелее атомы вещества, тем выше вероятность данных взаимодействий. В этой роли свинец зарекомендовал себя как один из самых результативных материалов. Этот металл обладает значительной плотностью (около 11,34 г/см³) и высоким атомным номером (82), что позволяет ему эффективно поглощать гамма-излучение.

Гамма-лучи теряют интенсивность при взаимодействии с веществом. Этот процесс подчиняется экспоненциальному закону ослабления, где каждый новый сантиметр материала поглощает часть излучения. Даже 1 см свинца может значительно снизить поток гамма-частиц [21].

На графике (Рис. 1), иллюстрирующем уменьшение интенсивности гамма-излучения в зависимости от толщины свинцового экрана, видно, что уже при толщине свинца 1 см интенсивность излучения снижается примерно на 50%. Это подтверждает высокую эффективность свинца даже при сравнительно небольших толщах. При увеличении толщины до 5 см снижение интенсивности становится значительным, а при 10 см излучение блокируется практически полностью.

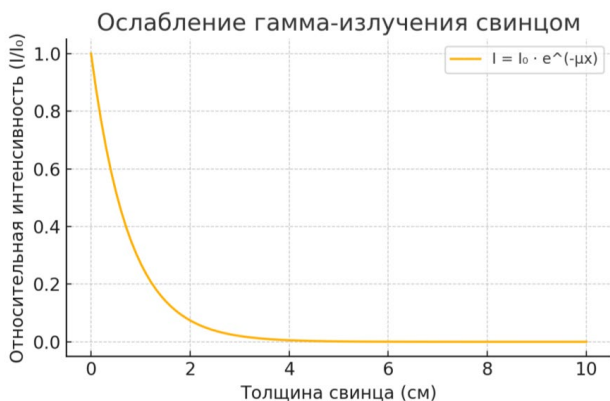


Рис 1. Уменьшение интенсивности гамма-излучения

Для достижения такого же уровня защиты при использовании других материалов потребуется значительно большая толщина:

- а) Бетон — около 6 см
- б) Вода — не менее 10 см
- в) Сталь — 1,5–2 см

Таким образом, свинец превосходит другие материалы по габаритам конструкции и массе, что делает его отличным выбором для мобильных установок или случаев, когда важно минимизировать габариты защиты. Это особенно ценно в условиях ограниченных пространств.

Несмотря на высокую эффективность, свинец имеет ряд недостатков. Он токсичен, поэтому требует изоляции — например, в виде защитных оболочек или композитных материалов. Кроме того, его низкая температура плавления (327°C) и мягкость исключают применение в высокотемпературных средах или при значительных механических нагрузках.

Благодаря сочетанию физико-химических характеристик, в частности плотности, технологичности и доступности свинец остается

одним из самых востребованных материалов для защиты от гамма-излучения. При грамотном использовании и соблюдении мер безопасности его применение остается обоснованным и актуальным в медицине, энергетике и других областях, где требуется эффективное экранирование ионизирующей радиации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребинский, Р.Н., Матюхин, П.В., Ястребинская, А.В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П.В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А.А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.

2. Матюхин, П.В., Бабенко, И.К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П.В. Матюхин, И.К. Бабенко [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.

3. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

4. Ястребинский, Р.Н., Соколенко, И.В., Иваницкий, Д.А., Матюхин, П. В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р.Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д.А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

5. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.

6. Matyukhin P.V. Inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.

7. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма /

В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород: сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

8.. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

9. Композиционный материал для радиационной защиты: пат. 2470395 Рос. Федерация № 2010152157/07; заявл. 20.12.2010; опубл. 20.12.2012

10. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

11. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

12. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.

13. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. Использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12.

14. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

15. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

16. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.

17. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлкомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

18. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.

19. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

20. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

21. Podgorsak, E.B. Radiation oncology physics [Text]: a handbook for teachers and students / E.B. Podgorsak. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. – 657 с.

Сазонов К.С. Загуляев А.Д. Рыжков А.С.

Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АКТУАЛЬНОСТЬ РЕАКТОРА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНОГО - 1000

Реакторы большой мощности канальные (РБМК) представляют собой уникальный класс ядерных реакторов, которые играют значительную роль в производстве электроэнергии по всему миру. Их проектирование и строительство начались в СССР в середине 20 века, и они стали основой для большинства ядерных электростанций в постсоветских странах. Актуальность таких реакторов в современном мире невозможно переоценить, особенно в контексте глобальных вызовов, таких как изменение климата, необходимость в чистых и устойчивых источниках энергии и разнообразие энергетических ресурсов.

В условиях нарастающей потребности в электроэнергии и стремления к уменьшению углеродных выбросов, РБМК представляют собой эффективное решение, обеспечивающее высокие уровни производства энергии. К тому же, эти реакторы обладают особенными характеристиками, позволяющими им использовать даже низкообогащённое ядерное топливо, что делает их более доступными и экономически выгодными. Технологии.

Первый реактор РБМК-1000 начал работу в 1973 году на Ленинградской АЭС, а к 2003 году его проектный срок службы подходил к концу. В 1998 году Минатом России запустил программу продления эксплуатации энергоблоков РБМК-1000, которая включала анализ безопасности и оценку ресурсов оборудования. Были модернизированы системы безопасности и компоненты реакторов, что позволило продлить срок службы на 15 лет [1].

С 2018 года началось отключение первых поколений блоков РБМК-1000, а сейчас готовятся к выведению первые и вторые энергоблоки Ленинградской и Курской АЭС. Энергоблоки второго поколения (по два на ЛАЭС и КАЭС, три на Смоленской АЭС) имеют конструкционные отличия от первых. Проектирование второго поколения учло новые нормы безопасности, требующие внедрения инновационных решений, затрагивающих конструкцию активной зоны

и системы безопасности. Условия эксплуатации для блоков разных поколений также различаются [1,2].

При эксплуатации любых ядерно-энергетических установок, необходимо осуществлять качественную биологическую защиту от ионизирующего излучения персонала, работающего с этими установками. Радиационно-защитные материалы могут быть на основе различных матриц и наполнителей. В частности, при эксплуатации реакторов большой мощности канальных они создают «барьеры», которые эффективно поглощают или ослабляют ионизирующее излучение, исходящее от активной зоны реактора, тем самым защищая как персонал, так и окружающую среду от потенциальных вредных эффектов радиации. Важно отметить, что выбор и применение защитных материалов значительно влияют не только на безопасность, но и на экономическую составляющую. Правильный выбор материалов может существенно сократить затраты на строительство и эксплуатацию станции, а также повысить ее надежность и эффективность. Применение высококачественных радиационных защитных материалов может оказать влияние на многие факторы, включая срок службы оборудования и общую производительность установки, что подчеркивает необходимость тщательного анализа и планирования при разработке проектов ядерных объектов [3-22].

Реакторы большой мощности канальные играют ключевую роль в производстве электроэнергии, особенно в постсоветских странах. Эти реакторы обладают уникальными характеристиками, позволяющими использовать низкообогащенное топливо и обеспечивать высокую выработку энергии. С начала 2000-х годов в России реализована программа продления службы энергоблоков РБМК-1000, в то время как новые блоки второго поколения были спроектированы с учетом современных норм безопасности. Важную роль в обеспечении безопасности ядерных установок играют радиационные защитные материалы, эффективность которых требует постоянных исследований и инноваций для повышения уровня безопасности на атомных станциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сколько жизней у РБМК-1000: уранграфитовым реакторам продлевают срок службы ещё на 5 лет // STRANA-ROSATOM URL: <https://strana-rosatom.ru> (дата обращения: 13.05.2025).

2. РБМК - реактор, изменивший атомную энергию // 2051.VISION URL: <https://2051.vision> (дата обращения: 13.05.2025).

3. Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Карнаухов, А. А. Модифицированные железоксидные наполнители для конструкционной радиационной защиты атомных реакторов [Текст] / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, А. А. Карнаухов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 10. — С. 209-213.

4. Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Павленко, З. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов [Текст] / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

5. Павленко, В. И., Матюхин, П. В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов [Текст] / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. — 2005. — № 8. — С. 22-25.

6. Матюхин, П. В., Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Евтушенко, Е. И. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами [Текст] / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2015. — № 9. — С. 27-29.

7. Матюхин, П. В., Бондаренко, Ю. М., Павленко, В. И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала [Текст] / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 1-1. — С. 148-152.

8. Ястребинская, А. В., Черкашина, Н. И., Матюхин, П. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры [Текст] / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-7. — С. 1191-1194.

9. Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Павленко, З. В., Карнаухов, А. А. Использование гидрид содержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения [Текст] / А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. А. Карнаухов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12.

10. Ястребинский, Р. Н., Дороганов, В. А., Павленко, В. И., Ястребинская, А. В., Матюхин, П. В., Евтушенко, Е. И. Жаростойкий

радиационно-защитный композиционный материал [Текст] / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2014. — № 7-8. — С. 19-22.

11. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлкомпозиционный материал строительного назначения [Текст] / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 35-39.

12. Ястребинский, Р. Н., Соколенко, И. В., Иваницкий, Д. А., Матюхин, П. В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер [Текст] / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 983-986.

13. Matyukhin P.V Inorganic radio protective metal composite construction material, news of higher educational institutions [Текст] / Matyukhin P.V // Строительство. — 2007. — Т. 9. № 585. — С. 35.

14. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Воронов, Д. В. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами [Текст] / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. — 2008. — Т. 51. № 11. — С. 66-71.

15. Композиционный материал для радиационной защиты: пат. 2470395 Рос. Федерация № 2010152157/07; заявл. 20.12.2010; опубл. 20.12.2012

16. Матюхин, П. В., Бабенко, И. К. Материалы для биологической защиты ядерного реактора / П. В. Матюхин, И. К. Бабенко [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород:Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 588-592.

17. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты [Текст] / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9 (28). — С. 39-40.

18. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2020. — Т. 299. — С. 107-111.

19. Павленко, В. И., Ястребинский, Р. Н., Матюхин, П. В., Ястребинская, А. В., Куприева, О. В. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья кма /

В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, О. В. Куприева [Текст] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. — Белгород: сборник докладов, 2016. — С. 256-264.

20. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing [Текст] / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. — 2018. — Т. 284. — С. 109-114.

21. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / Matyukhin P.V. [Текст] // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). — Belgorod: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019. — С. 239-243.

22. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides encapsulated into metallic aluminum matrix [Текст] / Matyukhin P.V. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 2. — С. 42.

УДК 621.039.5

Сазонов К.С. Загуляев А.Д. Рыжков А.С.

Научный руководитель: Клименко В.Г. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОГО ЯДЕРНОГО ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ТИПОВОГО ОПТИМИЗИРОВАННОГО ИНФОРМАТИЗИРОВАННОГО НАД РЕАКТОРОМ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫМ-1000

Актуальность исследования обусловлена динамичным развитием атомной энергетики и растущими требованиями к её безопасности, эффективности и экологической устойчивости. В данном контексте ключевое значение приобретает сравнительный анализ современных и традиционных реакторных технологий, таких как:

1) ВВЭР-ТОИ (водо-водяной энергетический реактор)

2) РБМК-1000 (реактор большой мощности канальный)

Преимущества ВВЭР-ТОИ включает в себя, повышенную безопасность, экономическую рентабельность, а так же сниженное

воздействие на окружающую среду, что позволяет данной технологии иметь широкие перспективы для широкого внедрения данной технологии.

Касательно перспектив будущего атомной энергетики связано с внедрением инновационных технологий, таких как:

- 1) Модульные компонентные реакторы.
- 2) Системы на быстрых нейтронах.

Данные технологии способны существенно эффективность и безопасность атомных электростанций (АЭС), а так же способность энергетической независимости государства. Переход на новые поколения энергетических реакторов позволяет сократить зависимость от уже традиционных источников энергии, снизив тем самым антропогенную нагрузку на экосистему.

Результаты данного исследования могут оказать влияние на формирования энергетической политики и развития инфраструктуры в различных странах, таким образом открывая новые возможности для устойчивого развития отрасли.

Цель статьи несёт в себе сравнительный анализ реакторов ВВЭР-ТОИ и РБМК-1000, систематизация ключевых аспектов и выгод инновационных технологий и разработок.

В рамках данной цели решались следующие задачи:

- 1) Сравнительный анализ технических характеристик и конструктивных особенностей реакторов ВВЭР-ТОИ и РБМК-1000.
- 2) Оценка уровня безопасности, экономической эффективности и экологичности рассматриваемых реакторных технологий.
- 3) Выявить возможности и перспективы применения технологии ВВЭР-ТОИ в современных условиях развития энергетики.

Объект - ядерные реакторы

Предмет исследования - ВВЭР-ТОИ

Основная часть. Реакторы ВВЭР-ТОИ обладают рядом преимуществ, обеспечивающих его конкурентоспособность в качестве современного источника энергии:

1) Повышенная безопасность. Конструкция реактора обладает пассивными системами защиты, которые автоматически срабатывают в аварийных ситуациях, минимизируя тем самым риски серьёзных инцидентов.

2) Энергоэффективность и экономичность. Усовершенствованная конструкция активной зоны и системы теплообмена обеспечивает эффективное использование ядерного топлива, а также снижая эксплуатационные затраты.

3) Экологическая устойчивость. ВВЭР-ТОИ характеризуется:

- сокращение объёмов радиационных выбросов.
- новая система обращения с ядерными отходами.
- максимальная минимизация воздействия на окружающую среду.

4) Надёжность управления. Цифровые системы контроля и диагностики в режиме реального времени повышают стабильность работы реактора и предотвращая потенциальные сбои.

ВВЭР-ТОИ представляет собой технически современный энергоблок, соответствующий современным требованиям безопасности и экологии.

Несмотря на значительные преимущества реактор ВВЭР-ТОИ имеет ряд существенных ограничений: высокая капиталоемкость (требует значительных капиталовложений и имеет длинный срок окупаемости), повышенные требования к персоналу (необходимость к привлечению высококвалифицированных специалистов и их постоянное обучение для работы с новыми инновационными системами), а также эксплуатационные сложности, обусловленные регулярной модернизацией оборудования и частым обновлениям защитных систем.

В отличие от ВВЭР-ТОИ, реакторы РБМК-1000 обладают следующими характеристиками:

- 1) Проверенная временем технология
- 2) Более простая конструкция
- 3) Высокая энергоотдача, что делает его эффективным решением для энергетики

В свою очередь реакторы РБМК-1000, несмотря на свою мощность также обладают существенными проблемами. В первую очередь они недостаточно безопасны, что именно конструктивные просчёты стали одной из причин, которые привели к печально известной аварии на Чернобыльской АЭС. Работа на данном реакторе сопровождается повышенным радиационным фоном, а утилизация отходов сопровождается множеством сложных действий и систем. Содержание таких реакторов выходило дорого - постоянные ремонты и модернизации съедают значительное количество времени и ресурсов. На текущий момент данная модель явно устарела и нуждается в кардинальной переработке, чтобы хоть как-то дотянуть до современных норм безопасности [1-4].

Реакторы ВВЭР-ТОИ представляет собой современную и перспективную разработку, обладающую значительными преимуществами в безопасности, эффективности и экологичности, однако его внедрению мешают высокая стоимость строительства, сложность обслуживания и повышенные требования к новым

квалифицированным специалистам. В тоже время РБМК несмотря на свою простоту и проверенность временем имеет существенные недостатки в плане безопасности и устаревшие технические решения. При таком подходе можно обеспечить баланс между безопасностью, экономичностью целесообразностью и экологичностью атомной энергетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Созданные технологические решения могут и должны быть использованы не только в рамках проекта ВВЭР-ТОИ // вестник атомпрома URL: <https://atomvestnik.ru> (дата обращения 10.05.2025)
2. “росатом” готовится к физпуску первого энергоблока Курской АЭС-2 // Страна РОСАТОМ URL: <https://strana-rosatom.ru> (дата обращения 10.05.2025)
3. ВВЭР-ТОИ. Как создаются атомные реакторы будущего. // СМОТРИМ URL: <https://smotrim.ru> (дата обращения 10.05.2025)
4. Клименко В.Г. Технология основных материалов современной энергетики / Клименко В.Г., Володченко А. Н. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. - 183 с

УДК 338.47

Самигуллина А.А., Шерчков И.В.

Научный руководитель – Бурганов Р.А., д-р экон. наук, проф.

Казанский государственный энергетический университет,

г. Казань, Россия

ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА СПРОС НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. В статье рассматривается растущее влияние электротранспорта на формирование спроса на электроэнергию. Особое внимание уделяется необходимости модернизации электросетей и внедрению "умных" технологий для эффективной интеграции электромобилей в энергосистему.

Ключевые слова. Электротранспорт, электромобили, спрос на электроэнергию, электроэнергетика, зарядная инфраструктура, энергосистема, интеллектуальные сети, возобновляемая энергетика, тарифы на электроэнергию.

Бурное развитие электротранспорта (ЭТ) является одним из ключевых трендов современной мировой экономики. Переход к

электромобилям (ЭМ) обусловлен экологическими соображениями, стремлением к снижению зависимости от ископаемого топлива и развитием технологий аккумуляторов и электродвигателей. Однако массовое внедрение ЭТ оказывает значительное влияние на рынок электроэнергетики, прежде всего, через изменение структуры и объема спроса на электроэнергию.

Темпы роста рынка электромобилей (ЭМ) значительно влияют на спрос на электроэнергию. Развитие зарядной инфраструктуры, включая медленные и быстрые зарядные устройства, стимулирует переход на ЭМ. Тарифная политика, поощряющая зарядку в ночное время, помогает распределить нагрузку на энергосистему. Грузовой и общественный электротранспорт потребляет больше электроэнергии, чем легковые автомобили. Технологии V2G (Vehicle-to-Grid), позволяющие ЭМ отдавать электроэнергию в сеть, могут повысить стабильность и гибкость энергосистемы.

Массовое внедрение электромобилей – это грандиозный технологический сдвиг, несущий в себе как огромный потенциал для улучшения экологической ситуации, так и значительные вызовы для существующей энергетической инфраструктуры. Рассмотрим подробнее возникающие проблемы и перспективы.[1]

Переход на электротранспорт увеличивает нагрузку на электросети, особенно в вечерний час пик, когда миллионы электромобилей подключаются к зарядным станциям. Это создает пиковые нагрузки, которые существующие сети не всегда выдерживают без модернизации. Для решения этой проблемы необходима комплексная стратегия, включающая модернизацию и расширение электросетей, внедрение интеллектуальных систем управления энергопотреблением (Demand Response) и развитие систем накопления энергии. Также важна интеграция возобновляемых источников энергии и создание "умных" сетей (Smart Grids), которые смогут анализировать потребление энергии в реальном времени, предсказывать пики нагрузки и оптимизировать распределение энергии, минимизируя риски перегрузок и обеспечивая надежность энергоснабжения.

Масштабный переход на электромобили требует значительных инвестиций в зарядную инфраструктуру, электросети и подстанции, что может стоить сотни миллиардов долларов. Например, к 2030 году для удовлетворения спроса на зарядные станции потребуются инвестиции, превышающие 100 миллиардов долларов. Эти затраты могут стимулировать экономический рост и создать новые рабочие места в сфере производства электромобилей и зарядной инфраструктуры.

Однако увеличение спроса на электроэнергию может привести к росту цен на неё, особенно в регионах с отстающей энергосистемой.

В 2022 в Казани запущен пилотный проект "Электротакси". Зарядная станция для электромобилей появилась на улице Вахитова. Общая мощность объекта составляет 82 кВт, на ней могут заряжаться сразу 3 электромобиля. Водители отметили низкие расходы на "топливо" (-60-70%), но ограниченный запас хода. Пассажиры довольны. Проблемы: мало зарядок, высокая цена машин. Планируется, что за 3 года будет создана сеть электрозарядных станций ЭЗС в 6 регионах, в том числе и в Татарстане.[2]

Электромобили значительно сокращают выбросы парниковых газов и улучшают качество воздуха в городах по сравнению с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания. Однако важно учитывать "серый след" производства электромобилей, связанный с добычей и переработкой материалов (литий, кобальт и др.), а также генерацией электроэнергии для их зарядки. Если электроэнергия производится из ископаемого топлива, экологические выгоды снижаются. Для максимального экологического эффекта необходимо сочетать переход на электромобили с развитием "зеленой" энергетики, обеспечивая зарядку электромобилей электроэнергией из возобновляемых источников. Это позволит значительно сократить углеродный след автомобильного транспорта и достичь целей по борьбе с изменением климата.[3]

Вызовы и возможности, связанные с развитием электротранспорта, касаются и вопросов хранения энергии. Развитие технологий аккумулирования энергии играет ключевую роль в обеспечении надежности и стабильности энергосистемы при увеличении доли электромобилей. Помимо крупных стационарных батарейных хранилищ, перспективным направлением является использование самих электромобилей в качестве мобильных накопителей энергии, способных поддерживать сеть в периоды пиковых нагрузок или при сбоях в энергоснабжении. Технология V2G (Vehicle-to-Grid) позволяет электромобилям не только потреблять, но и отдавать энергию в сеть, что делает их активными участниками энергетического рынка.

Социальные аспекты важны для внедрения электротранспорта. Необходимо обеспечить доступность электромобилей для разных слоев населения и создать удобную зарядную инфраструктуру в городах и сельской местности. Государственная поддержка, включая субсидии на покупку электромобилей и налоговые льготы, может стимулировать

спрос и способствовать равномерному распределению электромобилей среди населения.[4]

Международное сотрудничество и обмен опытом имеют важное значение для ускорения развития электротранспорта. Различные страны мира разрабатывают и внедряют собственные стратегии и программы по развитию электротранспорта, и обмен знаниями и лучшими практиками может помочь избежать ошибок и ускорить процесс перехода к экологически чистому транспорту.

Таким образом, массовое внедрение электромобилей – это не просто замена автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на электромобили, это комплексная трансформация всей транспортной системы, требующая согласованных действий в различных областях. Энергетика, экономика, экология и социальная сфера тесно взаимосвязаны, и успех этой трансформации зависит от способности находить оптимальные решения, учитывающие все аспекты и интересы заинтересованных сторон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов, А. А. Экологические аспекты массового внедрения электромобилей / А. А. Смирнов // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 6. – С. 45-58. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-6-45-58
2. В Татарстане намерены к 2030 году увеличить количество электромобилей в 50 раз // РБК. – 2021. – 28 октября. – URL: <https://amp.rbc.ru/regional/tatarstan/28/10/2021/6177cf709a794713431f5155> (дата обращения: 15.05.2024).
3. Иванова, О. С. Потенциал использования электромобилей для снижения выбросов парниковых газов в городах / О. С. Иванова // Сборник научных трудов "Современные проблемы энергетики". – Москва : Издательский дом МЭИ, 2023. – С. 120-130.
4. Кузнецов, А. В. Государственная поддержка электромобильного транспорта: международный опыт и российские перспективы / А. В. Кузнецов // Сборник научных трудов "Актуальные проблемы экономики и управления". – Санкт-Петербург : Издательство СПбГЭУ, 2023. – С. 80-95.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

С развитием энергетических сетей и увеличением числа объектов, таких как линии электропередач (ЛЭП), трансформаторные подстанции, и другие элементы инфраструктуры, традиционные методы мониторинга становятся менее эффективными. Сложность и удаленность объектов требуют новых подходов для быстрого и точного контроля. В то же время важно поддерживать высокий уровень безопасности и надежности энергетической инфраструктуры. Повреждения или дефекты на элементах инфраструктуры могут привести к серьезным авариям, нарушениям в подаче электроэнергии.

Современные методы глубокого обучения, в частности, нейросети для распознавания объектов на изображениях, показывают отличные результаты в задачах, требующих точной и быстрой обработки визуальной информации. Использование таких алгоритмов в сочетании с данными с камер или дронов позволяет создать системы, которые могут автоматически и в реальном времени обнаруживать и классифицировать объекты на инфраструктуре, обеспечивая оперативность в принятии решений [1-3].

В рамках исследования был произведен выбор между несколькими актуальными моделями для задачи обнаружения объектов энергетической инфраструктуры. Результаты сравнения моделей представлены в таблице 1.

При сравнении учитывались требования к особенностям использования данной модели в будущем, а так же сложность ее обучения:

1. Модель должна определять объекты в режиме реального времени.
2. Необходима возможность тестирования на ограниченном количестве данных.

3. Возможность работы с большими данными.
4. Малая ресурсоемкость.

Таблица 1.

Характеристика	YOLO (v8)	Faster R-CNN	SSD
Подходит для реального времени	Да	Нет	Да
Скорость обработки	Очень высокая	Низкая	Средняя
Использование на ограниченных данных	Эффективно	Неэффективно	Эффективно
Производительность на больших данных	Очень хорошая	Отличная	Хорошая
Простота внедрения	Простая	Сложная	Средняя
Требования к вычислительным ресурсам	Низкие	Высокие	Средние
Сложность обучения	Простая	Сложная (необходимы большие данные и вычисления)	Простая

Исходя из сравнения, модель с архитектурой YOLO оказалась наиболее выгодной для исследования.

Следующим шагом для обучения модели с целью обнаружения объектов энергетической инфраструктуры стал процесс разметки изображений. Для этой задачи был использован инструмент labeling, который является популярным и удобным решением для разметки данных в формате bounding boxes (ограничивающих рамок).

В качестве тестирования, было принято решение выбрать такой объект энергетической инфраструктуры, как изолятор. При сборе изображений для обучения модели важно, чтобы объект, размечаемый в labeling был показан с разных ракурсов, чтобы модель в будущем в реальном времени могла определять объект.

Таким образом, в качестве тестирования, случайным образом было выбрано 120 изображений изоляторов. Изображения брались из открытого доступа в сети Интернет.

Данные (изображения) были разделены на 2 категории:

1. Тренировочная выборка. В набор входят изображения, на которых модель будет обучаться. Обычно для эффективного обучения

используется около 80-90% от всех доступных данных. Эти данные активно участвуют в процессе тренировки модели.

2. Валидационная выборка: В эту выборку входят изображения, которые используются для проверки качества модели во время обучения. Эти данные не используются для тренировки, что позволяет избежать переобучения. Валидационные данные помогают отслеживать, насколько хорошо модель обобщает свои знания на данных, которых она не видела до этого. Для валидации используется оставшиеся 10-20% данных

В процессе разметки labeling генерирует TXT файлы, в которых каждая строка содержит информацию о координатах рамки, а также метке объекта. Формат записи в YOLO следующий: <class_id> <x_center> <y_center> <width> <height>

Где:

<class_id> — идентификатор класса объекта, <x_center>, <y_center> — координаты центра ограничивающей рамки, <width>, <height> — ширина и высота рамки, нормализованные по ширине и высоте изображения.

В качестве класса объекта выбран insulator.

Процесс разметки данных изображен на рисунках 1,2.

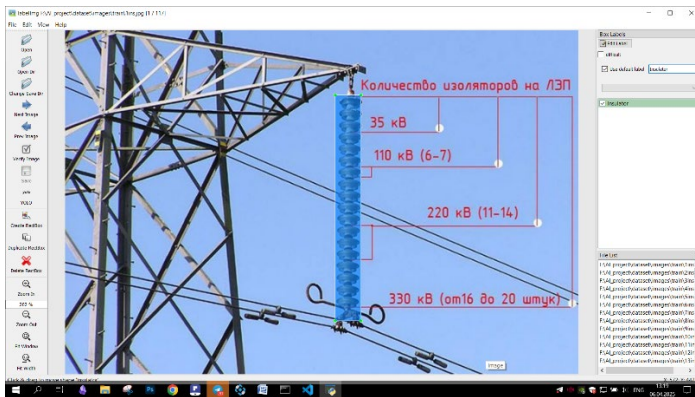


Рис. 1 Разметка изображений в Labelimg (1 объект класса insulator на изображении)

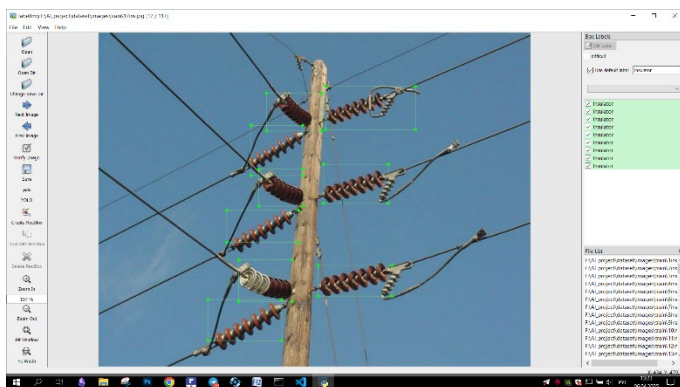


Рис. 2. Разметка изображений в Labeling (несколько объектов класса insulator на изображении)

Далее было произведено обучение модели YOLOv8. Обучение производилось на 50 эпохах. Процесс обучения модели — это итеративный процесс, в ходе которого модель постепенно улучшает свои предсказания, минимизируя ошибку на обучающих данных. Каждая эпоха представляет собой один полный цикл через все данные в обучающем наборе. После каждой эпохи модель оценивает свою точность на валидационной выборке, что позволяет отслеживать её прогресс и избегать переобучения.

Таким образом, обучение модели на 50 эпохах должно было позволить достичь более лучших результатов в обнаружении объектов энергетической инфраструктуры, при этом сохраняя баланс между скоростью обучения и точностью на новых данных, чем обучение на меньшем количестве эпох.

После обучения, была произведена проверка способности модели распознавать объекты на изображениях. Результат представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Результат обучения модели

В результате обучения модели на 120 изображениях получен вывод: модель обучена, объект может быть распознан. Однако, одной из метрик качественной работы модели является confidence score – уверенность. То есть, насколько модель уверена, что перед ней тот или иной объект. В данном случае confidence score равняется всего 0.26 (из 1.0 возможных), что говорит о том, что модель требует доработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 779-788. <https://doi.org> (Доступ: 3 марта 2025)
2. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37(9), 1904-1916. <https://doi.org> (Доступ: 12 марта 2025)
3. Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollár, P. (2017). Focal Loss for Dense Object Detection. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2980-2988. <https://doi.org> (Доступ: 12 марта 2025)

Сорокин Д.Н.

Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Уже долгое время по вине человека происходит глобальное потепление, свидетельством чему является рост средней температуры на поверхности планеты. Резкие изменения климата и осадков в разных регионах, появление неестественных природных бедствий, повышение уровня воды в мировых водоёмах – всё это след, который оставило человечество своими действиями.

Постоянно меняющийся климат оказывает влияние на все секторы экономики, в том числе и энергетику, затрагивая производство, распределение и потребление энергии.

Кроме вреда самой природе и окружающей среде, на горизонте вырисовывается и другая проблема – со степенью прогрессирования глобального потепления возрастает и количество необходимой для потребления энергии. Но при этом с ростом выработки энергии увеличивается пагубное воздействие на окружающую среду и степень парникового эффекта, что образует замкнутый круг между проблемами, вызванными энергетической промышленностью, и потребностью в этой промышленности.

Традиционные источники энергии конечны, что требует внедрения алгоритмов и планов энергопотребления для повышения эффективности энергоресурсов, которых не хватит навечно. Кроме того из-за изменений климата растёт спрос на охлаждение воздуха для жарких регионов и на отопление для холодных, что также увеличивает потребление энергии и спрос на неё.

Состояние окружающей среды напрямую влияет физическое состояние энергетической инфраструктуры и объекты в данной промышленности, следовательно на выработку и транспортировку энергии. Примером является январь 2022 года в Аргентине, когда около 700 тысяч человек осталось без электричества из-за огромной волны тепла. В том же году был и ряд больших пожаров в Америке, из-за которого сгорело несколько ветряков.

Климат становится всё более непредсказуемый, поэтому эффективность возобновляемых источников энергии становится

нестабильная, так как ветряки и солнечные батареи могут как работать более эффективно, так и наоборот в условиях быстро меняющихся погодных условий.

Таяние крупных ледников приводит к изменению геополитической карты. Повышение уровня моря может иметь негативные последствия и прямые риски для портов, выполняющих промежуточную роль для транспортировки топлива, и различных электростанций

Работа тепловых электростанций также ухудшается, ведь при повышении окружающей температуры снижает эффективность охлаждающих систем. Помимо того, человечество сталкивается с нехваткой водных ресурсов, так как около 25% теплоэлектростанций для охлаждения требует наличия пресной воды, которой становится всё меньше из-за засух.

Так как производить энергию становится тяжелее, а количество потребляемой энергии растёт, то и цена на неё возрастает, особенно на электроэнергию. Таким образом это влияет и на мировую экономику, что в последствии может привести к проблемам как энергетической, так и в других глобальных областях.

Учёные и предприниматели рекомендуют инвестировать финансы в развитие энергетической отрасли. Достаточные вложения могут повысить эффективность и прочность оборудования для работы в самых разных условиях.

Постоянный мониторинг и прогнозирование погоды специалисты находят правильным решением. Благодаря этому можно составлять длительные подробные графики по добыче и потреблению энергии.

Ещё одним решением является увеличение доли возобновляемых источников энергии. Это снизит нагрузку на традиционные источники энергии и уменьшит количество потребляемой пресной воды в сфере энергетики. Кроме того нетрадиционные источники энергии не оказывают вредоносного воздействия на окружающую среду, что также положительно скажется на проблеме глобального потепления.

Международный обмен информацией, технологиями и опытом повысит эффективность решения проблем из вышесказанной темы.

Именно постепенный переход к низкоуглеродной энергетике может стать ключевым, хоть и болезненным, фактором решения проблемы с окружающей средой.

Изменение климата комплексно влияет на мировую энергетику. Для решения такого рода проблем и устойчивого развития энергетической отрасли необходимы хорошо продуманные и интегрированные подходы, которые включают в себя в том числе и региональные особенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клименко, В.В. Энергия, природа и климат / В.В. Клименко, А.В. Клименко, Т.Н. Андрейченко. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 216 с.
2. Мартынов, А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения / 2. А.В. Мартынов // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 7. – С. 21-24.
3. Изменение климата ставит под угрозу энергетическую безопасность [Сайт]: // Всемирная Метеорологическая организация. URL: <https://wmo.int> (Дата обращения: 23.05.2025).
4. Удалов, С.Н. Возобновляемая энергетика. Учебное пособие / С.Н. Удалов // М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 624 с.
5. Тихомирова, Т.И., Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии / Т.И. Тихомирова, Н.А. Щетинин // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 265-267.
6. Использование гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии в распределенной энергетике / А.Г. Васьков, Е.В. Коваленко, М.Г. Тягунов, С.А. Шарапов // Энергетик. – 2014. – № 2. – С. 64-69.

УДК 620.9:338.24

Сорокин Д.Н.

Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИНВЕСТИЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

С каждым днём, с каждой секундой использования традиционных источников энергии обстановка с окружающей средой становится всё хуже. Последствием является увеличение парникового эффекта и его влияние на всю планету и человеческую цивилизацию в частности.

В условиях ухудшения окружающей среды и постоянно меняющегося климата появляется острая необходимость использования источников чистой энергии. Солнечная, ветровая, гидроэнергетика становятся главными в этом деле. Но не стоит забывать и о геотермальных установках, биомассе и принципам накопления энергии,

что также может способствовать развитию в данном направлении.

Ископаемые ресурсы ограничены и конечны, что является ещё одним толчком к переходу на возобновляемые источники энергии, ведь это не только поможет человечеству снизить зависимость от традиционных источников энергии, но также приведёт к устойчивости и стабильности в сфере энергетики. Помимо этого будет уменьшен углеродный след, что положительно скажется на окружающей среде.

Переход на возобновляемые источники энергии станет болезненным, так как требует больших инвестиций, большого запаса времени и несёт ряд ограничений, однако с другой стороны даёт новые возможности для социального и экономического роста. Несмотря на необходимость этого процесса в больших финансовых ресурсах и другой ряд трудностей для инвесторов, однако взамен даёт и ряд перспективных возможностей. Только в 2023 году инвестиции для развития и перехода на экологически чистые источники энергии превысили 750 миллиардов рублей.

Первым вызовом, стоящим на пути человечества к чистой энергетике является требование к первоначальным большим вложениям. Разработка, внедрение, продвижение новых технологий, а так же строительство – всё это требует очень большого стартового капиталовложения. Экономическая нестабильность и длительные сроки окупаемости таких проектов лишь обостряют ситуацию, что также может оттолкнуть потенциальных инвесторов, при том стоит учитывать, что многие из них придерживаются консервативных взглядов.

Ещё одним препятствием является прямая конкуренция с ископаемыми источниками энергии. Данная сфера хорошо развита и предлагает более доступные цены. Общество уже долгое время пользуется традиционными источниками энергии, поэтому на данный момент они более популярны. Люди не готовы платить больше за малораспространённые источники энергии с меньшей эффективностью, несмотря на то, что в этом есть острая необходимость.

Технологии в сфере энергетики продолжают быстро развиваться, однако не все проекты являются успешными. Многие сферы чистой энергетики ещё нуждаются в дальнейших разработках, исследованиях и тестированиях. Стоит обратить внимание, что быстрый прогресс также могут оставить негативный след, так как с развитием технологий, актуальные решения быстро устаревают, что приводит к неопределённости и непривлекательности для инвесторов из-за рисков связанных с некупаемостью.

Интеграция возобновляемых источников энергии в существующие

энергосистемы требует модернизации сетей, развития систем хранения энергии и обеспечения гибкости энергопотребления. Недостаток определённой инфраструктуры может ограничивать масштаб и эффективность инвестиций.

Постоянно меняющиеся законодательства стран, изменения в государственной политике и поддержке и разные рамки в условиях закона также может усложнить развитие нетрадиционной энергетики и отпугнуть часть инвесторов.

С другой стороны, развитие технологий делает их более мощными, при этом стоимость постоянно снижается, что позволит в дальнейшем конкурировать с ископаемыми источниками энергии. Должное количество вложений позволит ускорить этот процесс.

Во многих странах, включая Россию, вводятся различные программы и меры поддержки со стороны государства: субсидии, льготы, квоты и освобождение от части налогов. Это должно сделать данную отрасль более привлекательной для инвесторов.

Развитие умных сетей и аккумуляторных технологий позволяет не только интегрировать нетрадиционные источники энергии, но открывает ряд возможностей для энергетики в целом.

Инвестиции в данную отрасль содействуют появлению новых рабочих мест, развитию некоторых отраслей экономики и улучшению экологической обстановки. Это может привести к усилению общественной поддержки и снижению социальных рисков.

Инвесторы на данный момент являются главным звеном в развитии чистой энергетики и борьбе с проблемами окружающей среды, такими как изменения климата. Несмотря на риски и высокие затраты, развитие области нетрадиционной энергетики подаёт большие надежды и предоставляет хорошие перспективы в будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тенденции инвестиций в чистую энергетику 2024 года [Сайт] // Sigma Earth. URL: <https://sigmaearth.com> (Дата обращения: 23.05.2025).

2. Шпильрайн, Э.Э. Нетрадиционная энергетика в рамках государственной научно-технической программы России «Экологическая чистая энергетика» / Э.Э. Шпильрайн, Н.Л. Кошкин, О.С. Попель // Теплоэнергетика. – 1994 – № 2. – С. 2-14.

3. Тихомирова, Т.И. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии / Т.И. Тихомирова, Н.А. Щетинин // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл.

Междунар. научнотехн. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 135-137.

4. Власова, А.А. Анализ структуры выработки и потребления тепловой энергии в России / А.А. Власова, П.Н. Тарасюк, П.А. Трубаев // Образование, наука, производство. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 2929-2935.

5. Использование гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии в распределенной энергетике / А.Г. Васьков, Е.В. Коваленко, М.Г. Тягунов, С.А. Шарапов // Энергетик. – 2014. – № 2. – С. 25-27.

6. Машенков, А.Н. О контроле состояния тепловых сетей / А.Н. Машенков, А.В. Филимонов // Новости теплоснабжения. 2003. – № 10. – С. 27-29.

УДК 004.8

Чесняк А.В.

*Научный руководитель: Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ HVAC-СИСТЕМ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ

В условиях растущего энергопотребления и повышения требований к устойчивости зданий системы HVAC (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) становятся ключевыми элементами инженерной инфраструктуры [1]. Однако традиционные методы их обслуживания – планово-предупредительный и реактивный подход – не всегда позволяют эффективно предотвращать поломки, оптимизировать энергозатраты и продлевать срок службы оборудования.

С развитием технологий интернета вещей (IoT), больших данных и искусственного интеллекта появляется возможность перейти к интеллектуальному управлению жизненным циклом HVAC-систем. Алгоритмы машинного обучения (ML) способны анализировать большое количество эксплуатационных данных, предсказывать возможные отказы, автоматически выявлять отклонения в работе и тем самым повысить эффективность технического обслуживания.

Внедрение таких решений открывает перспективы для формирования предиктивного подхода к ремонту, сокращения

эксплуатационных затрат, улучшения качества микроклимата и уменьшения углеродного следа зданий [2]. В этом контексте исследование применения AI в сфере HVAC становится особенно актуальным и востребованным как в научной, так и в инженерной среде.

Современные здания сталкиваются с множеством факторов, влияющих на энергопотребление: местоположение, климат, режим эксплуатации, заполняемость помещений, теплопотери, тепловая инерция строительных материалов, работа оборудования и поведение пользователей. Учитывая все эти переменные в реальном времени, традиционные системы управления HVAC оказываются недостаточно гибкими. Поэтому архитектура интеллектуальных систем включает в себя датчики, IoT-устройства, модели ИИ, управляющие модули и модули обратной связи. Все эти компоненты взаимодействуют для создания самонастраиваемых, энергоэффективных и устойчивых систем.

Большинство исследований сосредоточено на системах управления HVAC, а не на их техническом обслуживании. Это объясняется тем, что именно в управлении достигается максимальная экономия энергии: более 80% от проанализированных работ касаются именно управления, тогда как менее 20% — обслуживания. Среди методов управления наибольшее распространение получили: стратегия управления нагрузкой, прогнозирование потребления энергии, анализ термического комфорта и определение заполняемости помещений. Алгоритмы, наиболее часто применяемые в этих задачах — это глубокое обучение, нейронные сети, случайные леса, LSTM и обучение с подкреплением [3].

Предиктивное управление основывается на прогнозах изменений условий, таких как температура, влажность, количество людей и загрузка помещений. Для этого применяют методы, которые работают с временными рядами и могут учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные тенденции. Нейронные сети, включая LSTM и CNN, помогают анализировать данные о погоде и внутренней температуре. Некоторые модели используют механизмы внимания, чтобы выделять важные данные и игнорировать менее значимые.

Прогнозирование загрузки зданий и поведения пользователей позволяет HVAC-системам работать гибко, адаптируясь под реальное или ожидаемое количество людей. Это особенно важно для офисов, учебных заведений и других объектов с переменной посещаемостью. Модели, обученные на данных о поведении, времени пребывания и активностях пользователей, помогают системам заранее настроиться на изменения. Некоторые модели используют данные о том, насколько

комфортно людям в помещении, позволяя системе автоматически подстраивать параметры в зависимости от коллективного отклика.

Анализ энергопотребления — это важная задача, особенно в условиях нехватки ресурсов и роста цен. Прогнозирующие алгоритмы помогают планировать нагрузку, снижать пики потребления и избегать перерасхода. Среди таких методов — случайные леса, градиентный бустинг, глубокие сети и гибридные модели. Наибольшую точность показывают глубокие модели, которые могут обрабатывать многомерные временные данные. Точность таких моделей достигает 90-95%, что делает их подходящими для внедрения в системы управления энергией зданий [4].

Для диагностики неисправностей используются алгоритмы на основе шаблонов и нейросетевые методы. Одним из успешных примеров является использование генеративных состязательных сетей (GAN) для выявления неисправностей чиллеров. Такие методы помогают обнаруживать не только очевидные, но и скрытые проблемы на ранней стадии, предотвращая поломки и снижая расходы на ремонт. Предиктивное техническое обслуживание с использованием ИИ становится основой концепции «цифрового двойника» инженерных систем зданий.

Выбор подходящего алгоритма зависит от задачи. Например, SVM хорошо работает с малыми выборками, но не всегда масштабируется. ANN требует больших данных и вычислительных мощностей, но может дать высокую точность. DRL позволяет обучать системы без точной модели окружающей среды, но требует времени и ресурсов для обучения [5].

ИИ активно используется не только в научных лабораториях, но и в реальных проектах. Ведущие университеты, такие как Carnegie Mellon, ETH Zürich и Politecnico di Torino, публикуют работы, демонстрирующие успешное внедрение ИИ в реальные здания. Практические результаты включают снижение энергопотребления до 40%, сокращение выбросов CO₂, улучшение стабильности климатических параметров и повышение комфорта для пользователей.

Технологии ИИ позволяют оптимизировать работу климатического оборудования и снижать энергозатраты. Например, система Daikin Intelligent Eye определяет наличие людей в помещении и регулирует мощность, экономя до 20% электроэнергии. Решение LG ThinQ AI анализирует энергопотребление и выбирает наиболее эффективные режимы работы, сокращая расходы на электричество до 30%. Технология AI Adaptive Control от Mitsubishi Electric прогнозирует предпочтения пользователей и автоматически настраивает параметры,

исключая необходимость ручного управления.

В последние годы наблюдается рост интереса к использованию ИИ в управлении энергетическими системами зданий. Это связано с увеличением научных публикаций по теме прогнозирования потребления, выявления неисправностей и оптимизации работы инженерных систем. Особенно активно такие исследования ведутся в странах с высокими технологическими возможностями и инвестициями в энергоэффективность. Ускоряется сотрудничество между специалистами из разных областей, что способствует более быстрому внедрению новых решений.

Несмотря на достижения, остаются проблемы, такие как стандартизация интерфейсов, безопасность данных, интеграция с существующими системами и защита персональной информации. Для решения этих вопросов необходимы комплексные подходы, включая обучение персонала, разработку стандартов и пилотные проекты.

Перспективы использования ИИ в HVAC-системах связаны с интеграцией цифровых двойников, автономных агентов и распределённых систем. В будущем можно ожидать появления систем, которые смогут учиться в процессе эксплуатации, адаптироваться к новым условиям и взаимодействовать с другими системами зданий и городской инфраструктурой.

Таким образом, использование ИИ в управлении HVAC-системами — это не просто тренд, а необходимость для создания устойчивых, энергоэффективных и экологичных зданий. Исследования показывают, что при правильном подходе такие решения могут обеспечить комфорт, безопасность, экономию и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 135-137.

2. Осипов А.Л. Применение интеллектуальных систем управления освещением для повышения энергоэффективности // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 7, № 7(147). – С. 100-110.

3. Машенков А.Н., Филимонов А.В. О контроле состояния тепловых сетей // Новости теплоснабжения. 2003. – № 10. – С. 27-29.

4. Сейидов С.А., Тиркешов Ш.Х., Якубов М.А. Роль

искусственного интеллекта в оптимизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) // Вестник науки. – 2024. – № 5(74) том 4. – С. 1522-1525.

5. Чистович С.А. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.Б. Харитонов. – Санкт-Петербург: Авок Северо-Запад, 2008. – 399 с.

УДК 697.1

Чесняк А.В.

*Научный руководитель: Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ ЗА СЧЁТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С самого начала своей истории люди искали способы получать и использовать энергию — чтобы согреться, защититься, готовить еду и передвигаться. С развитием технологий и ростом населения потребность в энергии только росла: она стала основой мировой экономики. Одним из главных потребителей энергии остаются здания, особенно жилые. Почти половина энергии в них уходит на отопление и охлаждение, остальное — на освещение и другие нужды. На расход энергии влияют климат, планировка, материалы и даже поведение жильцов.

Из-за ограниченных ресурсов и вреда, который наносит окружающей среде чрезмерное использование ископаемого топлива, становится важным грамотно управлять энергопотреблением. Особенно важно проектировать дома с учётом климата: правильная ориентация, тень от деревьев, хорошая изоляция и переход на возобновляемые источники помогают существенно сократить расходы на энергию. Установка двойных стеклопакетов, солнечных панелей, утепление фасадов и крыш, а также продуманная система отопления и вентиляции могут сделать здание практически самодостаточным по энергии [1].

Одним из ключевых решений стало утепление в жилом строительстве. Главная цель — создать сплошную теплоизоляцию, чтобы тепло не уходило через так называемые "мостики холода". Так здание может сохранять тепло, которое вырабатывают бытовая техника, солнечный свет и сами жильцы. Это особенно важно в регионах, где

зимой нужно много отопления, а летом — сильное охлаждение. Здание в таком случае становится активным участником поддержания комфортного климата внутри, а не просто потребителем энергии [2].

Современные теплоизоляционные материалы дают отличный эффект без больших переделок. Особенно важно утепление крыши и наружных стен: крыша может терять до 50% тепла, но при качественной изоляции потери снижаются до 5–10%. Стены дают до 15% экономии. Если ещё поставить окна с низкоэмиссионным покрытием и двойным остеклением, это поможет не только сохранять тепло зимой, но и уменьшать перегрев летом, что снижает траты на кондиционеры.

В исследовании рассмотрели два сценария экономии энергии для жилого комплекса из девяти кварталов. В первом случае использовали утепление стен и крыш, а также внешние навесы для создания тени. Это помогло сократить расходы на охлаждение летом и сохранить тепло зимой [3]. Во втором — установили солнечные батареи, которые при правильной настройке могут покрывать весь годовой спрос на электричество, особенно в солнечных регионах. В результате потребление энергии снизилось на 200 кВт·ч, а выбросы CO₂ — заметно уменьшились.

Помимо теплоизоляции, важную роль играет солнечная архитектура. В этом проекте здания повернули к югу, сделали большие окна и использовали материалы, способные накапливать тепло днём и отдавать его ночью. Дополнительно навесы не давали зданию перегреваться летом, а утеплённые оконные рамы удерживали тепло зимой. В результате здание могло само регулировать температуру, уменьшая потребность в отоплении или кондиционере.

Во втором сценарии ключевым элементом стали солнечные панели. Даже при переменной облачности они давали достаточно энергии, особенно с марта по октябрь. Зимой, несмотря на меньшую выработку, благодаря аккумуляторам и возврату лишней энергии в сеть, удавалось сохранять баланс. При этом система с аккумуляторами и гибким управлением могла сделать здание практически независимым от внешних электросетей [4].

Экономическую сторону тоже просчитали. Самым выгодным оказалось затенение окон с южной стороны — окупается за 4 года. Утепление стен и крыш — ещё быстрее, от года до семи. Солнечные панели тоже показали хорошие результаты, особенно при поддержке от государства. А вот некоторые решения, например, специальные теплоотражающие плёнки, оказались дорогими и малоэффективными.

Выяснилось, что даже при больших вложениях, особенно в солнечные панели и системы управления, всё окупается максимум за 7–

8 лет. А некоторые меры, вроде утепления стен, — меньше чем за полтора года. Это делает технологии доступными не только для отдельных домов, но и для целых районов в рамках городских программ по модернизации жилья.

Исследование показало, что при комплексном подходе — сочетании пассивных решений вроде изоляции и навесов с активными, например, солнечными панелями и светодиодным освещением — можно сэкономить до 81% энергии. Это снижает затраты и делает жильё экологичнее.

Отдельно рассмотрели климат и вентиляцию. Наружные козырьки помогали снижать температуру внутри помещений до 20°F летом, уменьшая потребность в кондиционерах. А вот внутренние шторы были менее эффективны — они сохраняют тепло в помещении после прогрева.

Таким образом, на примере проекта в условиях переменного климата показано, как последовательное внедрение простых решений может серьёзно сократить энергопотребление. Совмещение пассивных архитектурных приёмов, новых технологий и зелёной энергетики помогает создавать устойчивую городскую среду, способную справляться с будущими вызовами — ростом цен на энергию, климатическими изменениями и задачами по снижению выбросов. И всё это можно адаптировать под разные климатические условия и типы застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. Экологические вопросы использования альтернативных источников энергии // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. научнотехн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. — С. 135-137.

2. Васьков А.Г., Коваленко Е.В., Тягунов М.Г., Шарапов С.А. Использование гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии в распределенной энергетике // Энергетик. — 2014. — № 2. — С. 25-27.

3. Власова А.А., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А. Анализ структуры выработки и потребления тепловой энергии в России // Образование, наука, производство. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 2929-2935.

4. Мартынов А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения // Новости теплоснабжения. — 2006. — № 7. — С. 24-27.

Шарафеев Э.И., Галочкин Н.С.

*Научный руководитель: Бусыгин А.Н. канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Использование аккумуляторов электрической энергии в электроэнергетических системах (ЭЭС) предоставляет новые возможности для улучшения управления режимами и экономических показателей работы ЭЭС.

В течение многих лет для накопления энергии использовались гидроаккумулирующие электрические станции (ГАЭС). Однако строительство данных объектов электроэнергетики сильно зависит от особенностей конкретной местности, так как, как правило, данные электростанции создаются на основе существующих естественных водоемов, создание искусственных бассейнов повлечет за собой большие финансовые затраты, а также нанесение вреда природе (затопление местности). На данный момент особое внимание привлекают накопители энергии с иным принципом работы: электрохимические аккумуляторные батареи, сверхпроводниковые накопители и суперконденсаторы.

На сегодняшний день существует множество различных типов аккумуляторов, и их количество постоянно растет. Самыми известными из них являются свинцово-кислотные, никель-кадмиевые (NiCad), литий-ионные (Li-ion), натрий-серные (Na/S), бром-цинковые (Zn/Br), ванадиевые, никель-металлгидридные. Аккумуляторы на основе литий-ионных элементов нашли самое широкое применение в электроэнергетических системах. Они заменяют вращающиеся резервуары в энергосистемах и используются для регулирования частоты. Ожидается, что объем рынка литий-ионных батарей вырастет с 5,5 миллиардов долларов США в 2007 году до 35 миллиардов долларов в 2025 году.

Суперконденсаторы используются для хранения электрической энергии в виде электростатического заряда в промышленных целях. В настоящее время емкостные накопители находятся на стадии исследования и разработки прототипов. Ученые из США и Австралии создали сверхъёмкий суперконденсатор на основе графена, способный

хранить столько же энергии, сколько литий-ионные батареи. Основное преимущество этого устройства заключается в том, что оно может заряжаться и разряжаться всего за несколько секунд (минуты). Разработчики утверждают, что графеновые суперконденсаторы представляют собой революционный прорыв в области накопления энергии.

Магнитные накопители энергии на основе сверхпроводников хранят энергию в магнитном поле, которое создается постоянным током, протекающим через катушку из сверхпроводящего материала, находящегося в криогенной среде. SMES обладают очень высоким КПД (более 95%) и могут поставлять в сеть как активную, так и реактивную мощность практически мгновенно.

Автоматическое регулирование частоты и потоков активной мощности является важным процессом в крупных энергосистемах. Большие изменения частоты и мощности могут возникать из-за небалансов активной мощности, отделения энергосистемы от энергообъединения или при работе в асинхронных режимах. Для поддержания частоты в норме используется оперативное и автоматическое регулирование.

Первичное регулирование частоты ограничивает отклонение частоты в случае неравновесия мощности в энергосистеме. Это достигается за счет использования первичных резервов мощности на энергоблоках, которые активируются автоматическими регуляторами частоты для изменения мощности генераторов в пределах доступных первичных резервов регулирования. Также эту цель достигают за счет регулирующего воздействия нагрузки на частоту.

Размер необходимого суммарного нормируемого первичного резерва для загрузки и разгрузки в энергосистеме ЕЭС/ОЭС определяется максимальным расчетным небалансом, который составляет 1200 МВт. Для регулирования частоты требуется 30 секунд на полную мобилизацию нормированного первичного резерва.

Вторичное регулирование частоты – это процесс использования вторичного резерва мощности для компенсации небаланса активной мощности, устранения перегрузки транзитных связей и восстановления частоты и резервов первичного регулирования. Для этого используются гидравлические и тепловые электростанции. Максимальное время устранения небалансов - 15 минут.

Энергетические накопители с временем отклика от 1 до 3 секунд могут быть эффективно использованы в качестве резерва для первичного и вторичного регулирования частоты. Благодаря своей быстрой реакции они могут одновременно выполнять функции как

первичного, так и вторичного резерва активной мощности. Эти накопители способны компенсировать небалансы активной мощности всего за несколько секунд, что значительно улучшит качество регулирования частоты при возникновении значительных небалансов активной мощности.

Энергосистема России, из-за ее обширной территории и удаленности центров производства от потребления, является энергетическим объединением с ограниченными межсистемными связями. Отключение любой высоковольтной линии приводит к существенному снижению возможных перетоков в контролируемых участках. Поэтому размещение резервов активной мощности и их объем определяются в первую очередь сохранением максимально возможных перетоков при ослаблении контролируемых участков, а не покрытием аварийных дефицитов мощности.

Распределение резерва первичного и вторичного регулирования, хранящегося в накопителях энергии по различным узлам энергообъединения, способствует уменьшению аварийных перетоков при неравномерном распределении активной мощности и увеличит максимально допустимые перетоки в контролируемых участках.

Предотвращение снижения напряжения и предотвращение возникновения напряжения являются важными задачами. Напряжение в электрической сети может изменяться в зависимости от нагрузки, выполняемых в данный момент программ генерации электроэнергии, указаний диспетчера по изменению режима и наличия аварийных ситуаций, таких как отключения генераторов, трансформаторов и ЛЭП.

Согласно стандарту «Правила предотвращения и устранения нарушений нормального режима работы электрической части энергосистемы», при работе с пониженным напряжением и ухудшении ситуации необходимо ограничить передаваемую мощность по ЛЭП и потребление энергии в узлах с пониженным напряжением.

Если напряжение остается ниже допустимого значения после принятых мер по восстановлению, то нагрузка отключается поочередно в узле, где произошло снижение напряжения, до тех пор, пока напряжение не поднимется выше минимально допустимого значения. Использование накопителей энергии в точках подключения нагрузки позволит избежать отключения потребления, поскольку их управление осуществляется в зависимости от уровня напряжения в сети. При снижении напряжения ниже допустимого уровня на шинах нагрузки включаются накопители энергии, которые уменьшают перетоки мощности по питающим линиям и падение напряжения. В этом случае могут использоваться быстродействующие накопители для

автоматического резервирования электроснабжения ответственных потребителей, а также более медленные роторные накопители.

Как известно, суточный график нагрузки энергосистемы имеет ночной минимум и два максимума – утренний и вечерний. Накапливая электроэнергию в период ночного минимума, когда ее стоимость минимальна, и выдавая ее в периоды максимумов, накопитель способствует сглаживанию суточного графика, что, в свою очередь, позволяет уменьшить располагаемую мощность и снизить перетоки мощности по линиям передающей сети в периоды максимумов. Для сглаживания суточных графиков нагрузки используются ГАЭС, которые способны накапливать значительные объемы энергии в течение нескольких часов.

Потребители электрической энергии, которые могут быть идентифицированы как энергопринимающие установки особой группы, это те, чье внезапное отключение электроснабжения может привести к угрозе жизни и здоровью людей, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, а также к угрозе негативного воздействия на окружающую среду. Примерами таких потребителей могут быть системы электроснабжения нефте- и газопроводов, системы собственных нужд электрических станций, включая атомные электростанции, металлургические, химические производства и другие. Для обеспечения непрерывности электроснабжения потребитель электрической энергии особой группы должен иметь автономный источник электропитания, обычно представленный дизель-генераторными установками. При запуске автономного источника, время которого составляет несколько секунд, высокий пусковой ток может вызвать проблемы при самозапуске асинхронных двигателей или синхронизации синхронных двигателей. Использование накопителя, с временем отклика 10-20 миллисекунд, помогает минимизировать эти негативные процессы. В качестве такого накопителя могут быть использованы электрохимические аккумуляторы или сверхпроводниковые магнитные накопители, обеспечивающие необходимую скорость реакции.

Для обеспечения питания ответственных потребителей большой мощности обычно используется двустороннее электроснабжение. В некоторых случаях может быть использована секционированная схема питания с автоматическим вводом резерва (АВР). Устройства АВР обеспечивают автоматический запуск асинхронных двигателей для собственных нужд станций, ограничивая время прерывания электроснабжения менее чем на 1-2 секунды. Если секция, к которой подключены синхронные двигатели, теряет питание во время цикла

АВР, они выходят из синхронизма. Работа АВР при питании синхронной нагрузки разрешается в двух случаях:

- после отключения синхронного двигателя;
- после снятия возбуждения и перехода в пусковой режим.

Использование быстродействующего накопителя в качестве устройства АВР позволяет восстановить электроснабжение через 10-20 миллисекунд после его перерыва. Это позволяет осуществлять питание как асинхронной, так и синхронной нагрузке по секционированной схеме[1, 2, 3].

Подводя итог можем утверждать, что высокими темпами развиваются технологии накопления энергии, и накопители энергии все чаще используются для регулирования и управления режимами электроэнергетических систем. Благодаря быстрому отклику, высоким значениям мощности и энергоемкости, накопители открывают новые возможности для управления как стабильными, так и переходными режимами электроэнергетической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Извеков, Е. А. Перспективы применения накопителей энергии в электроэнергетических системах / Е. А. Извеков, Р. И. Косенков // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра, Воронеж, 26 февраля 2019 года. Том ЧАСТЬ II. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 132-140.
2. Шутенкова, О. С. Современные накопители электроэнергии / О. С. Шутенкова // Тинчуринские чтения: Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В трех томах, Казань, 23–26 апреля 2019 года. Том 1 Ч.2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 90-99.
3. Бушуев, В. В. Инфраструктурные накопители в энергетике / В. В. Бушуев, Н. Л. Новиков // Энергетическая политика. – 2020. – № 10(152). – С. 74-89.

Шарафеев Э.И., Галочкин Н.С.

Научный руководитель: Бусыгин А.Н. канд. техн. наук, доц.

Казанский государственный энергетический университет,

г. Казань, Россия

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время в России перед электроэнергетикой стоят серьезные задачи, связанные с обеспечением надежности электроснабжения, снижением потерь электроэнергии и повышением эффективности использования электроэнергии. Они относятся к ориентирам Энергетической стратегии России на период до 2025 года [1]. Внедрение интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ИПУЭ) является одним из эффективных способов решения поставленных задач.

Внедрение современного оборудования для потребителя означает, что ему не нужно вручную снимать и передавать показания и следить за состоянием счетчика. Теперь эти и другие функции возлагаются на поставщиков электроэнергии [2]. ИПУЭ обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными приборами учета:

1. Точность учета электроэнергии при любых погодных условиях. ИПУЭ обеспечивают более высокую точность учета электроэнергии, чем традиционные приборы учета. Это связано с тем, что ИПУЭ используют электронные датчики и алгоритмы обработки данных.

2. Возможность дистанционного сбора данных. ИПУЭ позволяют осуществлять дистанционный сбор данных о потреблении электроэнергии. Это позволяет потребителям получать данные о своем потреблении в режиме реального времени, а поставщикам электроэнергии – осуществлять удаленный контроль за потреблением электроэнергии.

3. Возможность проведения анализа потребления электроэнергии – одно из важных преимуществ использования систем индивидуального прибора учета электроэнергии (ИПУЭ). Благодаря ИПУЭ становится возможным целенаправленное изучение показателей потребления электроэнергии. Помимо этого, установка новых приборов учета позволяет эффективно предотвратить хищение электроэнергии, что существенно повышает надежность и качество электроснабжения для потребителей [3].

4. Важным преимуществом системы ИПУЭ является возможность ее интеграции с другими системами управления. Это открывает новые перспективы для разработки эффективной системы управления электроэнергией.

5. Снижение потерь электроэнергии. Благодаря ИПУЭ становится возможно точно определить показатели потребления электроэнергии и выявить некорректные, избыточные или недостаточные показатели. Такой анализ позволяет принять меры по оптимизации потребления и снижению расходов на электроэнергию, что в свою очередь положительно сказывается на общей экономической эффективности.

Экономический эффект от внедрения ИПУЭ может быть получен за счет снижения потерь электроэнергии. Внедрение ИПУЭ может привести к снижению потерь электроэнергии в среднем на 5-10%.

Так, для промышленного предприятия с потреблением электроэнергии 1000 МВт*ч в год снижение потерь электроэнергии на 5% приведет к снижению потребления электроэнергии на 50 МВт*ч в год. Соответственно, производить электроэнергию можно будет меньше, что сократит расходы различных видов топлива.

Эксплуатационные расходы на ИПУЭ включают в себя затраты на обслуживание и ремонт приборов учета. В среднем, эксплуатационные расходы на ИПУЭ составляют 1-2 тыс. руб. за прибор в год. Таким образом, годовые эксплуатационные расходы на ИПУЭ в промышленном предприятии составят 10-20 млн. руб.

Срок окупаемости ИПУЭ зависит от величины экономического эффекта, стоимости внедрения и эксплуатационных расходов. В среднем, он составляет 3-5 лет.

Отметим, что указанные цифры имеют теоретический характер. Экономический эффект от внедрения ИПУЭ может быть значительным. Он зависит от типа приборов учета, количества приборов, условий эксплуатации и других факторов.

В целом, внедрение ИПУЭ является целесообразной мерой для потребителей электроэнергии, которые стремятся снизить затраты на электроэнергию и повысить эффективность ее использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жаворонкова Н. Г., Шпаковский Ю. Г. Энергетическая стратегия - 2035: правовые проблемы инновационного развития и экологической безопасности // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2020. №3 (67).

2. Абдылдаев, Р. Н. Применение АСКУЭ как современного способа учета электроэнергии / Р. Н. Абдылдаев, С. Б. Кокчоева, У. Ы. Нурбек // Научные горизонты. – 2020. – № 6(34). – С. 137–145.

3. Свешникова, О. Н. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии в обеспечении энергосбережения / О. Н. Свешникова, Е. А. Тонева // Вестник поволжского государственного университета сервиса. – 2014. – № 5 (37). – С. 26–31.

УДК 66.045.53

Юдин А.В.

Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ ГРАДИРНИ: ПРИНЦИП РАБОТЫ

Проблема глобального потепления требует оценки воздействия изменения климата [1], в том числе учета техногенного воздействия на водные ресурсы [2]. Системы оборотных систем охлаждения являясь одним из главных «тепловых загрязнителей» окружающей среды.

Оросительные градирни представляют собой устройства, предназначенные для охлаждения воды с помощью распыления нагретой жидкости. Охлаждение жидкости достигается с помощью воздуха естественной или принудительной тяги. Оросительные градирни подразделяются на башенные (мокрые) и вентиляторные градирни [3].

Башенная градирня представляет собой высокую коническую конструкцию из железобетона или металла, предназначенную для охлаждения воды путем испарения. Такой вид градирен чаще всего используют на крупных промышленных производствах, АЭС, ТЭС.

Башенные градирни являются наиболее эффективным оборудованием для охлаждения воды. Поскольку сброс нагретой воды с предприятий ведет к местному потеплению, градирни получили достаточно широкое применение.

Рассмотрим принцип работы «мокрой» башенной градирни (Рис. 1).

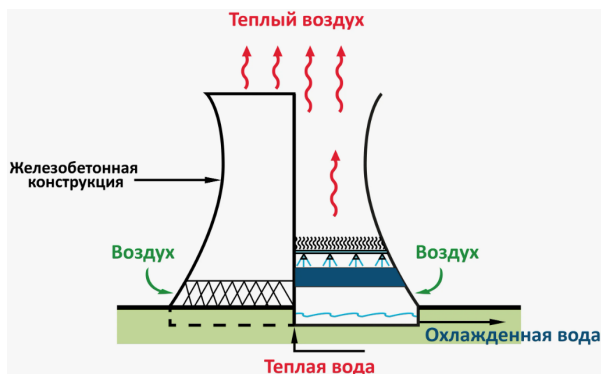


Рис. 1 Схема башенной градирни

Принцип работы башенной градирни заключается в том, что нагретая вода попадает в водораспределительную систему у основания башни, а затем – на ороситель. Ороситель является одной из самых важных элементов градирни, его функцией является увеличение площади соприкосновения воды и воздуха. Также ороситель способствует более равномерному распределению воды. Рассмотрим тип оросителя (Рис. 2) [4].

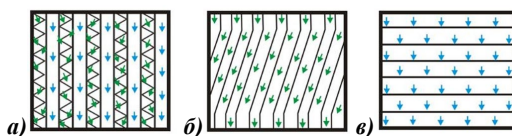


Рис. 2 Типы оросителя:

а – пленочный; б – капельный; в – капельно-пленочный

В процессе падения капли происходит её охлаждение из-за контакта с поднимающимся вверх воздухом. Причиной подъема воздуха является разность удельного веса нагретого и поступающего холодного воздуха, а также высота башни. После охлаждения капля попадает в резервуар для дальнейшего использования охлажденной жидкости [5].

Также над оросителем предусмотрен водоуловитель. Он позволяет снизить вынос воды из поднимающейся паровоздушной смеси.

Вентиляторные градирни представляют собой охлаждающие установки, в которых для движения воздуха используются механические вентиляторы [6]. Применяются такие градирни на производственных предприятиях, а также для кондиционирования промышленных объектов.

Принцип работы вентиляторной градирни схож с башенной. Нагретая жидкость разбрызгивается на ороситель, а наружный воздух проходит через ороситель за счет тяги, создаваемой вентиляторами. За счет этого осуществляется охлаждение жидкости в градирне. Также в вентиляторной градирне предусмотрен водоуловитель для уменьшения потерь воды (Рис. 3).



Рис. 3 Схема вентиляторной градирни

В заключении обсудим преимущества и недостатки данных оросительных градирен. Башенные градирни характеризуются высокой эффективностью охлаждения, экономией энергии за счет естественной тяги, однако из-за своих размеров строительство такой конструкции достаточно затратно [7]. К преимуществам вентиляторных градирен можно отнести более компактный размер, в сравнении с башенными, а также возможность регулировки производительности при помощи скорости вентилятора. К недостаткам же отнесем энергозатратность, шум, а также необходимость регулярного обслуживания вентиляторов данной установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеремет, Е.О. Исследование изменения основных расчетных параметров отопительного периода по архиву температур / Шеремет Е.О., Старченко С.Ф. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. № 6. – С. 19-31.

2. Дубино, А.М. Влияние специфики контекста на управление водными ресурсами в крупных городах / А.М. Дубино // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 47-55.

3. Федяев, В.Л. Эффективность оросительных градирен / В.Л. Федяев, Е.М. Власов, Р.Ф. Гайнуллин // Вестник международной академии холода. – 2012. – №. 4. – С. 35-39.
4. Акимова, Э.К. О проектировании башенных градирен / Э.К. Акимова, Ю.А. Попова, С.А. Ращепкина // The Scientific Heritage. – 2019. – №. 42-1 (42). – С. 52-57.
5. Трубаев, П.А. Системы энергоснабжения промышленных предприятий / П.А. Трубаев, А.В. Губарев, Б.М. Гришко // Белгород: Изд-во БГТУ. – 2012. – 199 с.
6. Власова, А.А. Утилизация теплоты охлаждающей воды на компрессорной станции ООО "Уралцемент" / А. А. Власова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2015. – С. 3151-3154.
7. Ращепкина, С.А. Открытые оросительные градирни, применяемые в энергетической промышленности / С.А. Ращепкина, Д.В. Габалова, Е. В. Князькина // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 79-2. – С. 71-75.

Оглавление

Александрова К.В.

СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ СТОЯНОЧНОЙ КОРРОЗИИ В
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЗАЩИТЫ
ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЕГО ОСТАНОВКЕ 3

Бабинцева Д.А., Ермуканова К.Ю.

ВЫЗОВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР 7

Байда С.Р.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ..... 11

Боцман Д.С.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И
ЭНЕРГЕТИКИ 14

Володина А.В., Афанаскина А.Н., Иванушкин С.А.

ДОЗИМЕТРИЯ В ЗОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ 20

Габитов Б.Ф.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК
ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ В
СТРАНЕ 24

Гончаров А.Н., Белозёров Н.С.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА..... 28

Гюльзадян Л.М.

ОПТИМАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РЕФОРМЕ ПЕРЕДАЧИ И
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ
НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ 31

Гюльзадян Л.М.

РОЛЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БУДУЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЕ..... 35

Гюльзадян Л.М.

ГИБРИДНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СИСТЕМЫ:
ВОЗМОЖНОСТИ НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО ДЛЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ..... 38

Иванушкин С.А., Афанаскина А.Н, Володина А.В.

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ..... 42

Иванушкин С.А., Афанаскина А.Н, Володина А.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ
МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ РИТМ-200Н 47

Колесов С.Н., Лупандин А.В., Недвига А.Г.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ - ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ 50

Лупандин А.В., Колесов С.Н., Недвига А.Г.

ЗАМКНУТЫЙ ТОРИЕВЫЙ ЦИКЛ В КИТАЙСКОМ РЕКТОРЕ НА
расплавленной соли 55

Майоров Н.А.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ:
ЭРГОНОМИКА, ОШИБКИ ОПЕРАТОРОВ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ
..... 59

Миниханова А.Р.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА НА АЭС 62

Миниханова А.Р.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА НА АЭС:
ЭЛЕКТРОЛИЗ ИЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКЕ МЕТОДЫ..... 66

Монастырский И.Э.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ
ОБЛАСТИ 69

Мукенге Д.Ч.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	75
Муценге Д.Ч.	
СПОСОБЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	78
Муценге Д.Ч.	
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	81
Недвиг А.Г., Лупандин А.В., Иванушкин С.А.	
БУДУЩЕЕ ПРОЕКТА THORIUM MOLTEN SALT REACTOR	85
Рыжков А.С., Сазонов К.С., Загуляев А.Д.	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВИНЦА КАК ЭКРАНИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ	88
Сазонов К.С. Загуляев А.Д. Рыжков А.С.	
АКТУАЛЬНОСТЬ РЕАКТОРА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНОГО - 1000	93
Сазонов К.С. Загуляев А.Д. Рыжков А.С.	
ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОГО ЯДЕРНОГО ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ТИПОВОГО ОПТИМИЗИРОВАННОГО ИНФОРМАТИЗИРОВАННОГО НАД РЕАКТОРОМ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫМ-1000	97
Самигуллина А.А., Шерчков И.В.	
ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА СПРОС НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	100
Семин Д.И.	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	104
Сорокин Д.Н.	
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	109
Сорокин Д.Н.	

ИНВЕСТИЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ.....	111
---	-----

Чесняк А.В.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ HVAC-СИСТЕМ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ	114
--	-----

Чесняк А.В.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ ЗА СЧЁТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	118
--	-----

Шарафеев Э.И., Галочкин Н.С.

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	121
---	-----

Шарафеев Э.И., Галочкин Н.С.

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	126
---	-----

Юдин А.В.

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ ГРАДИРНИ: ПРИНЦИП РАБОТЫ	128
---	-----