

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., доктор PhD

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., доктор PhD

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	д.т.н., профессор
Никифоров А. С.,	д.т.н., профессор
Новожилов А. Н.,	д.т.н., профессор
Никитин К. И.,	д.т.н., профессор (Российская Федерация)
Алиферов А. И.,	д.т.н., профессор (Российская Федерация)
Кошеков К. Т.,	д.т.н., профессор
Приходько Е. В.,	к.т.н., профессор
Кислов А. П.,	к.т.н., доцент
Нефтисов А. В.,	доктор PhD
Омарова А. Р.	технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайғыров университета» обязательна

МАЗМҰНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

Асылбек Н. Н., Макашев Е. П., Аканова А. С., Муратова Г. К. Автоматизация прогнозирования процесса деградации посевных земель Акмолинской области	6
Батырбек Ә. Е., Сивякова Г. А. Система автоматического регулирования электропривода летучих ножниц стана горячей прокатки	19
Begalieva S. T., Ashimova S. Zh., Yelubay M. A., Aitkaliyeva G. S. Study of the group composition of bitumens and its potential influence on physical and mechanical properties and energy efficiency	32
Бейсова К. С., Авдеев Л. А., Телбаева Ш. З., Войткевич С. В., В. А. Иванов Дообучение больших языковых моделей для генерации и озвучивания ответов	43
Бектасова А. А., Ашимова А. К., Шакенов К. Б. Жел энергиясын орнатуларының тиімділігін арттырудың перспективалы әдістері	56
Генбач А. А., Бондарцев Д. Ю., Генбач Н. А., Генбач Е. А. Система охлаждения с покрытиями из природных материалов	67
Дюсова Р. М., Сейтенова Г. Ж., Расмухаметова А. С. Оптимизация насосов и компрессоров на НПЗ через автоматизацию и моделирование в Казахстане	77
Звонцов А. С. Сағындық Ә. Б. Есмаханова Л. Н., Шукманов Ж. Е., Исабеков Ж. Б. Анализ передаточных характеристик и нелинейных эффектов в световодах на примере хроматической дисперсии	87
Золотов А. Д., Бидахметов А. С., Оспанов Е. А., Бекбаева Р. С., Муханбеткалиева А. К. Обзор трендов в автоматизации бизнес-процессов	100
Инсепов Д. Г. Изучение роли преобразователей частоты в индукционном нагреве нефтепроводов	121
Кисманова А. А., Төрбек Қ. Аджанов А. У., Шакишева К. М. Айқаспалы термопластикалық кабель жұмыс үстінде оқшаулау күйін бақылау және апаттардың алдын алу	133
Кишубаева А. Т., Ахметжан Н. М., Назымбек С. Б., Белгісіздік жағдайындағы болжамды басқару модельдерін талдау	147
Колесников Е. Н., Рахимбердинова Д. М., Юсупова А. О. Өндірістік асупт құрамындағы үш фазалы трансформаторды қорғау құрылғысы	160

Кудашева А. Б., Хазимов М. Ж., Мансуров З. А. Новая схема управления и подачи воздуха в маломощном водогрейном котле	169
Қойшиев Т. Қ., Айтуғанова А. М., Жансерікқызы А., Қасенов Д. А. Күн энергиясын қолдану арқылы сутегі алу технологиясын дамыту	182
Құттыбай Н. Б., Байболов О. Б. Қошқарбай Н. Ж., Ершов П., Болатбек А. Б. Оптимизация фотоэлектрических систем с контроллером ОТММ на основе алгоритма ОСП	195
Жалмагамбетова У. К., Мусагажинов М. Ж., Талипов О. М. Кислов А. П. Обзор технологий мониторинга и средств защиты в энергетическом комплексе Казахстана	208
Машрапов Б. Е., Клецель М. Я., Машрапова Р. М. Измерительный орган для фильтровых токовых защит с контролем исправности	221
Maulet M. Rakhadilov B., Rutkowska-Gorczyca M., Sagdoldina Zh., Buitkenov D. Assessment of Ni-Cr-Al high-temperature detonation coatings under operational conditions	231
Мехтиев А. Д., Герасименко Т. С. Сарсикеев Е. Ж., Касипхан А., Кириченко Л. Н. Оценка минерализации воды в результате ее магнитной обработки для снижения накипи	242
Молдахметов С. С., Риттер Д. В., Доскужинов Е. Т. Активная система отвода тепла от силового инвертора мощностью 3 кВт.....	256
Новожилов А. Н., Имангазинова Д. К. Новожилов Т. А., Горюнов В. Н. Определение величины зубцового деления статора и фазного ротора электрической машины	269
Нұрмағанбетова Г. С. Каверин В. В., Исенов С. С., Искаков У. К., Сарсембиева Э. К. Қысқа тұйықталған роторлы асинхронды генератордың температураны бақылаушының имитационды моделін әзірлеу	282
Орынбаев С. А., Абдлахатова Н. Ш., Жүсіп Т. С., Жанпейісова А. О., Тлешова А. С. Оңтүстік Қазақстан геотермалды ресурстары үшін ренкин органикалық циклын пайдалану	297
Оспанова Н. Н., Төлепберген А. А., Токжигитова Н. К. Байжуманов С. Д. Использование геймификационных элементов в автоматизации и информатизации систем управления	310

Сыдықова Г. К, Жүнісов Ж. Т., Құлтан И. Б., Утемуратова И. А., Құдайберген З. Р. Су электролизі технологияларын қолдану арқылы жасыл сутегіні алу әдістері	321
Танкибаева А. К. Казанцев И. Г., Кумаргажанова С. К., Тлебалдинова А. С. Азаматова Ж. К. Обзор методов коррекции неоднородности интенсивности магнитно-резонансных изображений	332
Тасболат Г. Ж., Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н. Компьютерное моделирование энергоэффективных решений: применение тепловых насосов и ВИЭ для улучшения автономного теплоснабжения.....	345
Авторлар туралы ақпарат Сведения об авторах Information about the authors.....	360
Авторларға арналған ережелер Правила для авторов Rules for authors	394
Жарияланым этикасы Публикационная этика Publication ethics	405

<https://doi.org/10.48081/RJMU2768>

***Н. Н Асылбек¹, Е. П. Макашев², А. С. Аканова³,
Г. К. Муратова⁴**

^{1,3,4}Казахский агротехнический исследовательский университет имени
С. Сейфуллина, Республика Казахстан г. Астана

²Казахский Национальный Университет
имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6244-1960>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1698-3614>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

*e-mail: nurzhan.asylbek@kazatu.edu.kz

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ ПОСЕВНЫХ ЗЕМЕЛЬ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье представлен комплексный анализ процессов деградации посевных земель в Акмолинской области, с акцентом на использование современных информационных технологий для прогнозирования. Рассмотрены ключевые факторы, влияющие на деградацию земель, включая климатические, экологические и антропогенные аспекты. Исследован опыт зарубежных ученых в разработке автоматизированных систем для сельского хозяйства. На основе данных дистанционного зондирования рассчитаны вегетационные индексы NDVI, IVI, VCI, IVCI и гидротермический коэффициент (ГТК), которые были использованы для мониторинга состояния земель. В ходе исследования выявлено, что применение методов машинного обучения и анализа индексов позволяет оперативно определять зоны риска и разрабатывать меры по предотвращению деградации почвы. Использование автоматизированных систем повышает точность анализа, минимизирует человеческий фактор и способствует принятию эффективных решений в области устойчивого землепользования. Результаты работы могут быть полезны для интеграции цифровых технологий в агропромышленный сектор и управления земельными ресурсами.

Ключевые слова: деградация земель, прогнозирование, автоматизация, сельское хозяйство, вегетационные индексы, дистанционное зондирование, машинное обучение, устойчивое землепользование, климатические факторы.

Введение

Интенсивное развитие технологий позволяет человечеству автоматизировать большинство процессов на производстве, в образовании, в медицине, в сельском хозяйстве и в других сферах деятельности. С широким использованием искусственного интеллекта, в частности, машинного обучения информационные технологии позволяют обрабатывать большие данные, обучать их и получать достоверные результаты, таким образом можно избежать ошибки, допускаемые человеком.

По анализу научных статей в международных изданиях можно заметить, что уровень интереса применения искусственного интеллекта в агросекторе значительно повысилась. Применение нейронной сети в научных исследованиях агросектора начинает появляться в последние годы чаще, чем предыдущие, что говорит о повышении заинтересованности ученых в данной области. Общее количество научных статей о применении нейронных сетей в агросекторе составляет 2 % от общего количества научных статей связанные с информационными технологиями в агросекторе. Применение машинного обучения имеет огромный практический потенциал в исследованиях ученых агрономов. Данный показатель подчеркивает, что применение нейронных сетей в аграрном комплексе набирает популярность среди ученых.

Ученые агросектора для прогнозирования деградации посевных земель используют традиционные методы измерения, хотя на современном этапе имеется большая возможность применять цифровые технологии, искусственный интеллект и методы машинного обучения для быстрого получения результата.

Исследования земель и прогнозирование деградации посевных земель все больше становится актуальным и данный вопрос требует решения в области информационных технологий. Современные информационные технологии позволяют быстро обрабатывать данные и определять степень деградации земли при помощи распознавания спутниковых снимков, а также имеется возможность прогнозирования деградации посевных земель. Эффективные модели и технологии предсказания с помощью новых информационных технологий в точности искусственного интеллекта позволяют заранее выявлять уязвимые участки и принимать целенаправленные меры по предотвращению деградации.

Целью исследования является выявить основные факторы, влияющие на процесс деградации земель и способы автоматизации прогнозирования. Для достижения данной цели были поставлены такие задачи как: изучить опыт зарубежных ученых в области и разработки автоматизированной системы для сельского хозяйства; провести анализ текущего состояния посевных земель с использованием доступных данных и исследований.

В Казахстане более 76 % территории чувствительно к опустыниванию, а площадь уже опустыненных земель составляет около 104 000 км² (3,8 % от общей площади) [1]. В исследовании использовалась методика для картирования опустынивания, сочетающая оценку чувствительности к опустыниванию с анализом долгосрочных тенденций и стабильности чистой первичной продуктивности (NPP), получаемой из спутниковых данных. В северных регионах на деградацию земель значительное влияние оказывает человеческая деятельность в сельском хозяйстве. Авторы рекомендуют целенаправленные меры по регулированию сельского хозяйства и промышленности для предотвращения дальнейшей деградации.

Анализ показывает, что 43 % территории Казахстана подверглось деградации, при этом более 14 % пастбищ столкнулись с крайней или полной деградацией. Регионы Приаралья, Северного Прикаспия и Южного Прибалхашья особенно уязвимы [2].

В исследовании [3] отмечено, что более 90 % сельскохозяйственных угодий Казахстана подверглись деградации. Используя данные спутников Terra и Aqua, авторы определили степень повреждения пастбищ с достоверностью 75–90 %. Предложена классификация и типы деградации земель в соответствии с международными стандартами, что важно для разработки мероприятий по повышению устойчивости агроландшафтов.

Дистанционное зондирование является эффективным инструментом для мониторинга деградации земель. В работе [4] была проведена оценка динамики опустынивания в поселках Иссатай, Зинеден, Майкомген, Миялы и Жаскайрат на протяжении 17 лет. Используя данные спутниковых снимков, авторы выявили значительные изменения в экосистемах на границе полупустынной и пустынной зон Казахстана. Результаты подчеркнули серьезное социально-экономическое воздействие деградации земель на местное население.

В Костанайском районе исследования [5] фокусируются на использовании спутниковых данных для выявления и мониторинга деградации земель. Включая наземные измерения биофизических параметров пастбищ, были разработаны новые алгоритмы и методы оценки риска деградации пастбищ.

Изменения площадей опустынивания в России были изучены в работе [6], где использовались данные дистанционного зондирования для мониторинга

изменений, вызванных засухой и неконтролируемым выпасом скота. Авторы отметили необходимость регулирования численности скота и проведения фитомелиорации для предотвращения дальнейшего опустынивания.

Учеными [7] был разработан новый спектральный индекс для оценки деградации земель, названный комплексным индексом деградации (CDI). Он основан на данных Landsat-8 и учитывает состояние растительности, режим увлажнения и спектральные параметры голой почвы. Разработанный новый индекс был применен на землях юго-восточной части Казахстана. Индекс учитывает растительный покров, увлажнение и спектральные параметры почвы, что позволяет эффективно мониторить деградацию в аридных зонах Евразии.

Исследование [8] в засушливых регионах Северо-Западного Китая подчеркивает проблемы деградации земель, вызванные чрезмерным использованием водных ресурсов для орошения. Концепция нейтрального отношения к деградации земель (НДЗ), входящая в ЦУР 15.3, предполагает поддержание нулевого уровня деградации, при котором количество и качество земельных ресурсов остаются стабильными или улучшаются. Исследования в данном регионе сосредоточены на изучении механизмов оазификации и ее влияния на опустынивание и деградацию, что способствует разработке принципов сбалансированного землепользования.

Засоление почв является серьезной проблемой в южных и центральных регионах Казахстана. Исследование [9] выделило четыре почвенно-гало-геохимические провинции соленакопления, различающиеся по генезису и составу солей. Использование программы ArcMap позволило составить подробные карты соленакопления, что важно для разработки эффективных стратегий управления земледелием в засушливых районах.

В работе [10] отмечено, что опустынивание и деградация земель в засушливых и полузасушливых регионах южного Казахстана сопровождаются засолением, эрозией и деградацией растительности. Более 75% территории Казахстана подвержено этим процессам, что свидетельствует о необходимости принятия срочных мер для восстановления земель.

В Центральной Азии опустынивание является ключевой экологической проблемой. Исследование [11] проводило мониторинг опустынивания с 1982 по 2012 год, используя аналитическую иерархию и дистанционное зондирование. Результаты показали значительное распространение опустынивания в западной части региона, особенно на востоке провинции Синьцзян и плато Устюрт. Выявлены периоды интенсивного опустынивания с 1993 по 2002 год. Авторы подчеркнули необходимость региональных управлений в принятии мер по предотвращению опустынивания и восстановлению экологической среды.

Деградация сельскохозяйственных земель часто связана с нерациональным землепользованием и антропогенным воздействием. В обзоре [12] рассматривается влияние деградации земель на сельское хозяйство и окружающую среду. Подчеркивается, что деградация может приводить к опустыниванию и снижению производственного потенциала почв. Авторы предлагают органическое земледелие как альтернативу для предотвращения деградации и поддержания баланса между сельским хозяйством и сохранением экосистем.

В Юго-Западном Китае проблема опустынивания камней изучена в работе [13], где применяется модель FLUS для прогнозирования изменений до 2035 года. Исследование выявило, что высота, уклон и направление склона, а также человеческая деятельность, существенно влияют на процессы опустынивания. Это подчеркивает важность комплексного подхода к управлению земельными ресурсами в карстовых регионах.

Моделирование сельскохозяйственных процессов играет ключевую роль в прогнозировании последствий деградации земель. В исследовании [14] использовалась модель APSIM для оценки влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур в высоких широтах Швеции. Результаты показали, что повышение температуры и уровня CO₂ может положительно сказаться на урожайности ячменя, овса и кукурузы, при условии отсутствия водного стресса.

В работе [15] проведен эмуляторный анализ чувствительности модели APSIM-Sugar. Сравнение различных методов оптимизации параметров модели показало эффективность оптимизации на основе эмулятора, обеспечивая точные результаты за краткое время. Это важно для улучшения прогнозирования в аграрных системах и разработки стратегий устойчивого земледелия.

Таким образом, анализ научных исследований показывает, что деградация посевных земель в Казахстане требует глубокого изучения и интеграции в сельское хозяйство новейших технологий, в частности, методы анализа искусственного интеллекта.

Материалы и методы

В данном исследовании применен комплексный подход, включающий анализ данных дистанционного зондирования, моделирование процессов деградации земель, а также изучение международного опыта автоматизации прогнозирования. Для верификации результатов использованы полевые исследования и статистический анализ, что позволяет более точно оценить воздействие климатических и экологических факторов на деградацию сельскохозяйственных земель.

Для достижения поставленной цели исследования был реализован поэтапный процесс, включающий выполнение ключевых задач. Каждый этап направлен на решение отдельных аспектов проблемы деградации земель, что позволяет комплексно подойти к автоматизации прогнозирования и разработке эффективных мер по предотвращению дальнейшего ухудшения состояния почв.

1 Изучить опыт зарубежных ученых в области и разработки автоматизированной системы для сельского хозяйства.

Были изучены научные труды опубликованные в международных журналах. Одним из результатов научных исследований является система ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/get-started/main/get-started-with-arcmap.htm>). В ходе исследования были изучены функциональные возможности данной системы и выделены преимущества и недостатки. Преимуществами являются включение подробной методической рекомендации для пользователя, что облегчает изучение работы системы участникам агросектора. Система является открытой для доступа всех желающих пользоваться данной системой. Имеется динамический пользовательский интерфейс, что позволяет настраивать UI под каждого пользователя. В систему интегрированы утилиты, которые позволяют дефрагментировать хранение файла, восстанавливают испорченные файлы. Возможности системы включают картографирование и визуализацию данных. Недостатком данной системы является то, что пользовательский интерфейс отличается сложностью восприятия и устаревшим дизайном, что затрудняет эффективное взаимодействие пользователей с системой.

Следующая исследованная система – Имитатор систем сельскохозяйственного производства APSIM (<https://www.apsim.info/>). Преимуществами данной системы являются то, что он состоит из нескольких ключевых компонентов, таких как: набор биофизических модулей, которые моделируют биологические и физические процессы в сельскохозяйственных системах; набор модулей управления, которые позволяют пользователю указать предполагаемые правила управления, характеризующие моделируемый сценарий и управляющие моделированием; а также различные модули для облегчения ввода и вывода данных в моделирование и из него. Система совместима с установкой на персональные компьютеры и поддерживает использование в автономном режиме, что обеспечивает удобство и доступность для пользователей без необходимости постоянного подключения к интернету. Недостатком же системы является то, что доступ предоставляется исключительно по приобретаемой лицензии, из-за чего ограничивает её доступность для более широкой аудитории и

может затруднить внедрение в бюджетных организациях и среди частных пользователей.

В рамках задачи был проведен анализ научных трудов, опубликованных в международных журналах, что позволило выявить наиболее значимые технологии и программные решения в данной области. Одним из таких решений является система ArcMap, которая предоставляет обширные возможности для картографирования и визуализации данных. Система отличается наличием подробных методических рекомендаций и динамическим пользовательским интерфейсом, однако сложность интерфейса и устаревший дизайн могут ограничивать ее эффективность.

Еще одним изученным инструментом стал имитатор сельскохозяйственных систем APSIM, который позволяет моделировать биофизические процессы и управление аграрными системами. Система обладает высокой функциональностью и автономностью, однако ограниченная доступность из-за лицензирования снижает её применение в широких кругах и бюджетных организациях.

2 Провести анализ текущего состояния посевных земель с использованием доступных данных и исследований

В ходе исследования вегетационных индексов для дальнейшего использования из открытых источников были получены следующие формулы:

для расчета нормализованного относительного индекса растительности (NDVI):

$$NDVI = \frac{(ch_2 - ch_1)}{(ch_1 + ch_2)}$$

$$NDVI(t) = \max_{i=1}^{10} (NDVI_{jk})_i$$

для расчета интегрального вегетационный индекс IVI:

$$IVI = \sum_{t=1}^n NDVI(t)$$

для расчета индекса условий вегетации VCI:

$$VCI(t) = \frac{NDVI_t - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

для расчета интегральный индекс условий вегетации IVCI:

$$IVCI = \frac{IVI - IVI_{min}}{IVI_{max} - IVI_{min}}$$

для расчета гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК):

$$ГТК = \frac{\sum R}{\sum t/10}$$

Нормализованный разностный индекс растительности NDVI является одним из наиболее часто используемых индексов в агрономии и экологии, поскольку он позволяет количественно оценивать плотность и состояние растительности. Этот индекс рассчитывается на основе соотношения между ближним инфракрасным и красным диапазонами электромагнитного спектра, что делает его высокочувствительным к изменению растительного покрова. Такая чувствительность позволяет эффективно использовать NDVI для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в реальном времени и раннего обнаружения признаков деградации почвы и растительности. Вместе с тем, IVI, или интегральный индекс растительности, позволяет анализировать общее состояние вегетации на протяжении длительного времени, что способствует выявлению долгосрочных трендов и изменений в растительном покрове. Индексы VCI (индекс условий вегетации) и IVCI (интегральный индекс условий вегетации) ориентированы на анализ временных изменений вегетационных условий, помогая оценить влияние экстремальных погодных явлений, таких как засуха или избыточная влажность. Это особенно актуально для регионов с высокой климатической изменчивостью, как Акмолинская область. Гидротермический коэффициент Г. Т.Селянинова (ГТК) учитывает соотношение осадков и температуры, что является критически важным фактором для оценки условий роста сельскохозяйственных культур. В совокупности, использование этих индексов позволяет создать более полную модель состояния растительности и ее изменений, что особенно полезно для компьютеризированного анализа деградации сельскохозяйственных земель.

Результаты и обсуждение

В результате изучения опыта зарубежных ученых в области и разработки автоматизированной системы для сельского хозяйства были выявлены две системы затрагивающие вопросы экологии. Обе системы являются веб-инструментом для широкого круга пользователей. Было выявлено что данные инструменты не включают вопросы по деградации посевных земель.

На основе формул вегетационных индексов за последние 2 года были рассчитаны усредненные вегетационные индексы (Таблица 1), данные были использованы из открытых источников по Акмолинской области (<https://stat.gov.kz/>):

Таблица 1 – Усредненные вегетационные индексы по Акмолинской области

	IVI	IVCI	ГТК
2022	0,811037	0,631879	0,889908
2023	0,477934	0,056353	0,559633

Исследование характеризуется использованием современных методов анализа вегетационных индексов, таких как NDVI, IVI, VCI, IVCI и ГТК, а также данных дистанционного зондирования для оценки состояния сельскохозяйственных земель. Этот подход обеспечивает комплексный анализ, позволяющий выявлять проблемные зоны, отслеживать их изменения и своевременно принимать меры для предотвращения деградации. Автоматизация обработки данных сокращает временные затраты, снижает вероятность ошибок и повышает точность решений, что делает методику удобной и доступной для фермеров и представителей аграрных организаций.

При этом точность расчетов может ограничиваться атмосферными условиями, такими как облачность или пыльные бури, влияющими на данные спутниковых снимков. Пространственное разрешение спутников может затруднять обнаружение мелкомасштабных изменений. Сезонные колебания растительности также создают трудности в интерпретации индексов, так как природные изменения могут маскировать долгосрочные антропогенные факторы деградации земель.

Выводы

Таким образом, изучив процесс деградации данных посевных земель с учетом климатических и экологических факторов, возникает вопрос разработки системы прогнозирования этой деградации для обеспечения устойчивого использования сельскохозяйственных ресурсов в регионе. Результаты анализа вегетационных индексов могут быть использованы для создания моделей прогнозирования деградации земель, которые помогут аграриям и экологам разрабатывать меры по предотвращению или минимизации негативных изменений. С помощью машинного обучения можно разработать модели, учитывающие временные ряды индексов и метеорологических данных, что позволит предсказать вероятность деградации на различных этапах роста сельскохозяйственных культур. Это, в свою очередь, поможет более целенаправленно планировать агротехнические мероприятия, такие как оптимизация посевных работ или выбор адаптивных сортов растений. Кроме того, результаты текущего анализа могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого землепользования, направленных на улучшение состояния почв. Долгосрочный мониторинг индексов поможет выявить зоны повышенного риска и оценить эффективность

уже предпринятых мер по восстановлению деградированных земель. Также результаты исследований могут быть полезны для дальнейшей работы по интеграции автоматизированных систем управления в сельское хозяйство, что позволит более оперативно реагировать на изменения в состоянии посевных земель и принимать меры по их улучшению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Hu, Yunfeng & Han, Yueqi & Zhang, Yunzhi.** (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*. 180. 104203. 10.1016/j.jaridenv.2020.104203.

2 **Issanova, Gulnura & Saduakhas, A. & Abuduwaili, J. & Tynybayeva, K. & Tanirbergenov, s.I.** (2020). Desertification And Land Degradation in Kazakhstan. *The Bulletin*. 5. 95-102. 10.32014/2020.2518-1467.148.

3 **Makenova, S. & Alipbeki, Onggarbek & Tatarintsev, V. & Inkarov, D. & Asanova, G. & Muzyka, O.** (2023). Issue on land degradation in kazakhstan. *Herald of science of s seifullin kazakh agro technical research university*. 10.51452/kazatu.2023.2(117).1406.

4 **Yessenamanova, M & Yessenamanova, Zh & Tlepbergenova, A & Abdinov, Rauan & Ryskalieva, D.** (2020). Desertification assessment of the territory of Atyrau region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 421. 062005. 10.1088/1755-1315/421/6/062005.

5 **Малахов Д. В., Витковская И. С., Батырбаева М. Ж.** Методические Подходы К Изучению Опустыненной Степи Казахстана: Перспективы Использования Некоммерческих Данных ДЗЗ // Вопросы степеведения. 2021. №2.

6 **Shinkarenko, Stanislav & Bartalev, Sergey & Berdengalieva, Asel & Doroshenko, V.V.** (2022). Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019-2022. *Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 19. 319-327. 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.

7 **Malakhov, Dmitry & Bатырbayeva, Madina & Vitkovskaya, Irina.** (2022). A New Method for Land Degradation Assessment in the Arid Zone of Republic of Kazakhstan. 10.1007/978-3-031-12112-8_7.

8 **Martinez-Valderrama, Jaime & Gui, Dongwei & Ahmed, Zeeshan.** (2023). Oasification and Desertification under the Framework of Land Degradation Neutrality. *Environmental Sciences Proceedings*. 25. 10.3390/ECWS-7-14238.

9 **Issanova, Gulnura & Abuduwaili, J. & Mamutov, Zheken & Kaldybaev, A. & Saparov, Galymzhan & Bazarbaeva, T.** (2017). Saline soils

and identification of salt accumulation provinces in Kazakhstan. *Arid Ecosystems*. 7. 243-250. 10.1134/S2079096117040035.

10 **Issanova, Gulnura & Saparov, Abdulla & Ustemirova, Aigul.** (2014). SOIL DEGRADATION AND DESERTIFICATION PROCESSES WITHIN KAZAKHSTAN.

11 **Jiang, Liangliang & Jiapaer, Guli & Bao, Anming & Kurban, Alishir & Guo, Hao & Zheng, Guoxiong & De Maeyer, Philippe.** (2019). Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*. 104. 195-208. 10.1016/j.ecolind.2019.04.067.

12 **AbdelRahman, Mohamed.** (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. 10.1007/s12210-023-01155-3.

13 **Cao, Jiaju & Wen, Xingping & Zhang, Meimei & Luo, Dayou & Tan, Yinlong.** (2022). Information Extraction and Prediction of Rocky Desertification Based on Remote Sensing Data. *Sustainability*. 14. 13385. 10.3390/su142013385.

14 **Morel J. et al.** Quantification of the impact of temperature, CO₂, and rainfall changes on Swedish annual crops production using the APSIM model // *Frontiers in sustainable food systems*. – 2021. – Т. 5. – С. 665025.

15 **Gunarathna M. H. J. P., Sakai Kazuhito, Kumari M. K. N.** / Emulator-based optimization of APSIM-Sugar using the results of sensitivity analysis performed with the software GEM-SA / *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 7 (2023); DOI=10.3389/fsufs.2023.1157854; ISSN=2571-581X

Поступило в редакцию 31.10.24
Поступило с исправлениями 26.11.24
Принято в печать 04.12.24

*Н. Н. Асылбек¹, Е. П. Макашев², А. С. Аканова³, Г. К. Муратова⁴

^{1,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық

зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы Астана қ.

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ.

31.10.24 ж. баспаға түсті.

26.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

АҚМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ ЕГІСТІК ЖЕРЛЕРІНІҢ ТОЗУ ПРОЦЕСІН БОЛЖАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Бұл мақалада болжау үшін заманауи ақпараттық технологияларды пайдалануға баса назар аударып, Ақмола

облысындағы егістік жерлердің тозу процесіне кешенді талдау ұсынылған. Климаттық, экологиялық және антропогендік аспектілерді қоса алғанда, Жердің деградациясына әсер ететін негізгі факторлар қарастырылады. Ауыл шаруашылығына арналған автоматтандырылған жүйелерді әзірлеудегі шетелдік ғалымдардың тәжірибесі зерттелді. Қашықтықтан зондау деректері негізінде жердің жай-күйін бақылау үшін пайдаланылған NDVI, IVI, VCI, IVCI және гидротермиялық коэффициенттің (ГТК) вегетациялық индекстері есептелген. Зерттеу барысында Машиналық оқыту және индекстерді талдау әдістерін қолдану тәуекел аймақтарын жедел анықтауға және топырақтың деградациясының алдын алу шараларын әзірлеуге мүмкіндік беретіні анықталды. Автоматтандырылған жүйелерді пайдалану талдаудың дәлдігін жақсартады, адам факторын азайтады және жерді тұрақты пайдалану саласында тиімді шешімдер қабылдауға ықпал етеді. Жұмыс нәтижелері цифрлық технологияларды агроөнеркәсіптік секторға біріктіру және жер ресурстарын басқару үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: болжау, егістік жерлердің деградациясы, автоматтандыру, вегетациялық индекстер.

*N. N. Assylbek¹, Y. P. Makashev², A. S. Akanova³, G. K. Muratova⁴

^{1,3,4}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana

²al-Farabi Kazakh National University», Almaty

Received 31.10.24

Received in revised form 26.11.24

Accepted for publication 04.12.24

AUTOMATION OF FORECASTING THE PROCESS OF DEGRADATION OF CULTIVATED LANDS IN AKMOLA REGION

This article presents a comprehensive analysis of crop land degradation processes in Akmola Oblast, with emphasis on the use of modern information technologies for forecasting. Key factors influencing land degradation, including climatic, environmental and anthropogenic aspects, are considered. The experience of foreign scientists in the development of automated systems for agriculture has been studied. On the basis of remote sensing data vegetation indices NDVI, IVI, VCI, IVCI and hydrothermal coefficient (HTC) were calculated and used for monitoring of land condition. The study reveals that the use of machine learning

methods and index analysis allows prompt identification of risk zones and development of measures to prevent soil degradation. The use of automated systems increases the accuracy of analysis, minimizes the human factor and promotes effective decision-making in the field of sustainable land use. The results of the work can be useful for the integration of digital technologies in the agro-industrial sector and land management.

Keywords: forecasting, degradation of cultivated lands, automation, vegetation indices.

МРНТИ 50.03.03

<https://doi.org/10.48081/GGXQ5661>

***Ә. Е. Батырбек¹, Г. А. Сивякова²**

^{1,2}Қарагандинский индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау

¹ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3369-6804>

²ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>

*e-mail:alibek_batyrbek@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В данной статье представлена система автоматического регулирования электропривода летучих ножниц горячей прокатки, которая разработана в рамках докторской диссертации «Автоматизация процесса резки проката на летучих ножницах стана горячей прокатки». В статье рассмотрены основные конструкции системы автоматического регулирования летучих ножниц и определены их требования. Рассмотрены принцип работы, механизм регулирования, технологический процесс и схема регулирования (контур напряжения, тока, скорости и положения) летучих ножниц. Построены структурные схемы по каждому контурам и определены передаточная функция объекта регулирования. Вычисления и анализ качества системы автоматического регулирования (САР) электропривода летучих ножниц был выполнен в программном комплексе MATLAB. Для определения анализа и качества регулирования построены (переходной процесс и логарифмической амплитудно-частотной с фазо-частотной характеристикой) модели контуров в Matlab. По результатам исследования получены следующие параметры: частота среза, запас устойчивости по фазе, перерегулирование, время достижения первого согласования, время достижения первого максимума и время регулирования. В результате работы можно сделать следующий вывод: все контуры имеют необходимый запас устойчивости по фазе и по частоте в соответствии с теорией классических систем подчиненного регулирования.

Ключевые слова: стан, ПК MATLAB, система автоматического регулирования, летучие ножницы, математическое моделирование, электропривод.

Введение

Техника прокатного производства развивается в направлении широкого применения непрерывных прокатных станов (листовых, сортовых, заготовочных). Весьма ответственной машиной в этих поточных линиях являются ножницы, используемые для резки металла.

Летучие ножницы предназначены для резки металла во время его движения, причем с высокой скоростью. Во многих случаях работоспособность этих ножниц определяет производительность прокатного стана [1, с. 257].

Объект исследования – электропривод летучих ножниц стана горячей прокатки листопрокатного цеха №1 АО «Qarmet» [2].

Идея работы состоит в разработке САР электропривода ножей летучих ножниц, обеспечивающей эффективное управление при резке металла. Исследования касаются разделов теории автоматического управления, систем управления электроприводом и математического моделирования электромеханических систем [3; 4; 5].

Основное место в современных прокатных станах занимают тиристорный электропривод постоянного тока [6, с. 87]. Структурная схема САР будет представлять собой систему подчинённого регулирования. Для управления каждой координатой организуется отдельный контур со своей обратной связью и своим регулятором [7, с. 14]. Конструкция САР должна удовлетворять следующим требованиям: требуемую точность реза; минимальные нагрузки на механизм; минимальные потери в двигателе.

Материалы и методы

Ножницы барабанного типа с наклонным верхним ножом установлены между черновой и чистовой группами клетей стана горячей прокатки «1700» листопрокатного цеха №1 АО «Qarmet» и предназначены для обрезки переднего и заднего концов подката.

Для фиксации барабанов ножниц в исходном положении на валу нижнего барабана установлен командоаппарат и сельсин. При отключении привода во время длительной остановки ножницы затормаживаются тормозом [8, с. 21].

Ножницы снабжены механизмом регулировки бокового зазора между ножами. Регулирование зазора между ножами производится за счет осевого перемещения верхнего барабана, при неподвижном нижнем [8, с. 21].

Поскольку электропривод летучих ножниц представляет собой двухдвигательный привод, причем оба двигателя связаны между собой через

общий редуктор, схема управления тиристорными агрегатами построена с общим регулятором скорости и индивидуальными регуляторами тока для каждого агрегата.

Структурная схема САР представляет собой четырехконтурную схему управления. В режиме реза система является трехконтурной схемой регулирования, состоящей из контуров регулирования напряжения, тока и скорости.

В режиме установка ножей в исходное положение появляется четвертый контур – контур регулирования положения. Технологическая схема летучих ножниц представлена на рисунке 1.

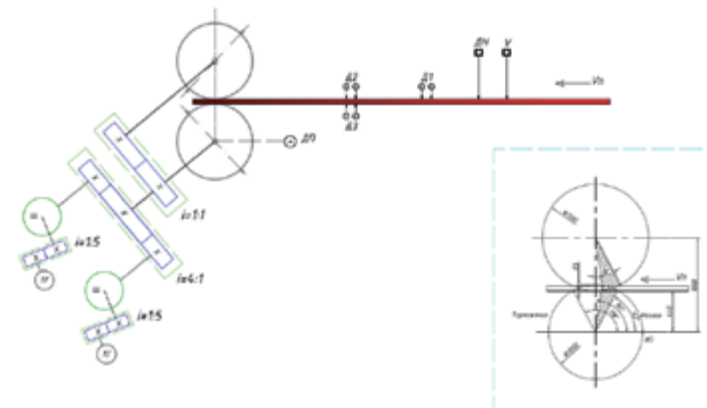


Рисунок 1 – Технологическая схема летучих ножниц

Контур регулирования напряжения.

Внутренним контуром является контур регулирования напряжения тиристорного преобразователя.

Тиристорный преобразователь, выполненный по мостовой схеме, при наличии активно-индуктивной нагрузки полностью закрывается при $d > 90^\circ$.

Это соображение, а также соображение надежности реверсивного преобразователя вынуждают осуществлять «раздвижку» углов управления группами «Вперед» и «Назад» преобразователя. Это означает, что при отсутствии сигнала управления начальный угол регулирования к каждой из групп $d > 90^\circ$.

Поскольку ножницы должны иметь быстродействующий привод, то для преодоления «люфта» в регулировочной характеристике, а также улучшения регулировочной характеристики в зоне прерывистого тока возникала необходимость в повышении быстродействия системы регулирования.

Поскольку увеличение быстродействия контура тока ограничено соображениями устойчивости, то оказалось целесообразно выполнить быстродействующий контур регулирования напряжения.

Работа регулятора напряжения (РН) протекает следующим образом: в зоне прерывистого тока на регулятор РН, имеющий интегральную характеристику, поступает сигнал задания. Поскольку в режиме прерывистого тока из-за нелинейности регулировочной характеристики напряжение преобразователя меняется незначительно, сигнал обратной связи по напряжению также меняется незначительно. Таким образом, сигнал управления, значительно усиленный регулятором РН, поступает на СИФУ преобразователя и тем самым ускоряет рост напряжения преобразователя. После замыкания цепи обратной связи по напряжению контур регулирования напряжения превращается в периодическое звено с малой постоянной времени, практически не влияющее на устойчивость и быстродействие системы управления. Таким образом структура модели контура регулирования напряжения будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

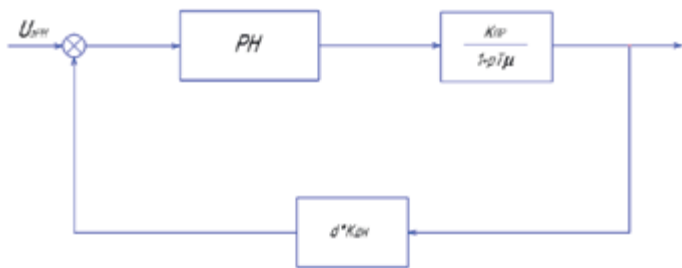


Рисунок 2 – Структурная схема контура регулирования напряжения

Передаточная функция регулятора напряжения:

$$W_{РН}(p) = \frac{K}{1+pT_1} \quad (1)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура напряжения:

$$W_{ррн}(p) = \frac{K}{1+pT_1} \cdot \frac{K_{пр}}{1+pT_μ} \cdot \alpha \cdot K_{дн} \quad (2)$$

Контур регулирования тока.

Требования, предъявляемые к этому контуру очень высокие, т.к. своими параметрами точности и быстродействия он определяет параметры

последующих контуров. Регулятор тока (РТ) выполнен пропорционально-интегральным (ПИ) с целью преодоления инерционности якорной цепи, связанной с большой величиной ее индуктивности. Ограничение динамического тока двигателя обеспечивается ограничением входного напряжения регулятора РС. Структура математической модели контура регулирования тока представлена на рисунке 3.

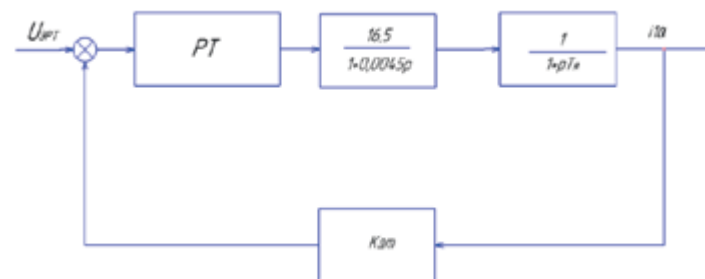


Рисунок 3 – Структурная схема контура регулирования тока

Передаточная функция регулятора тока:

$$W_{рм}(p) = \frac{1+pT_3}{pT_4} \quad (3)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура тока:

$$W_{ррм}(p) = \frac{1+pT_3}{pT_4} \cdot \frac{16,5}{1+0,0045p} \cdot \frac{1}{1+pT_я} \cdot K_{дт} \quad (4)$$

Контур регулирование скорости.

Регулятор скорости (РС) будет иметь ПИ-структуру для избежания возможных статических ошибок в регулировании скорости привода. Заданием по скорости является сигнал от тахогенератора (ТГ) механизма, с которым должны синхронизироваться ножницы, либо задание на непрерывное вращение ножей, либо задание от регулятора положения (РП). Сигнал обратной связи поступает на вход РС от ТГ летучих ножниц через датчик напряжения (ДН), следующий для гальванического разделения цепей. Структура математической модели контура регулирования скорости представлена на рисунке 4.

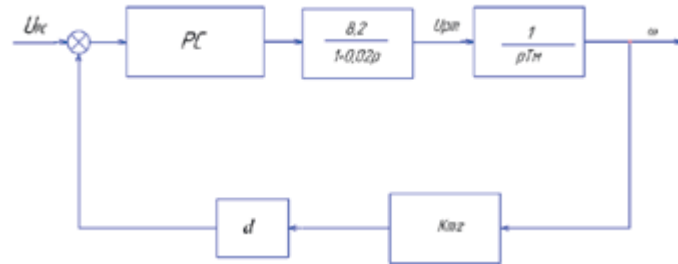


Рисунок 4 – Структурная схема контура регулирования скорости

Передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{PC}(p) = \frac{1+pT_5}{pT_6} \tag{5}$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура скорости:

$$W_{ppc}(p) = \frac{1+pT_5}{pT_6} \cdot \frac{8,2}{1+0,02p} \cdot \frac{K_{mz}}{1+pT_m} \tag{6}$$

Контур регулирования положения.

Регулятор положения (РП) выполнен с линейной характеристикой.

Датчиком положения является сельсин на механизме.

Регулятор положения обеспечивает надежную установку ножей в исходном положении. Структура математической модели контура регулирования положения представлена на рисунке 5.

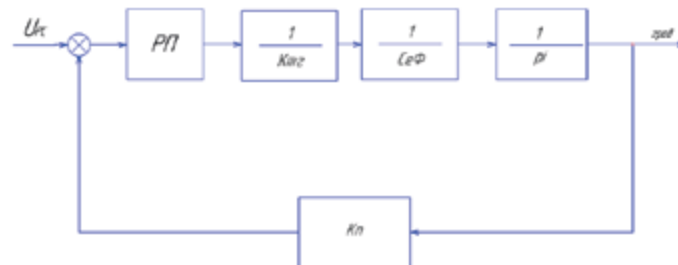


Рисунок 5 – Структурная схема контура регулирования положения

Передаточная функция регулятора положения:

$$W_{pn}(p) = K_{pn} = 5,4 \tag{7}$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура положения:

$$W_{ppn}(p) = K_{pn} \cdot \frac{1}{K_{mz}} \cdot \frac{1}{CeФ} \cdot \frac{1}{p} \cdot K_n = \frac{K_{pn} \cdot K_n}{K_{mz} \cdot CeФ \cdot p} \tag{8}$$

Результаты вычисления и анализа качества САР электропривода летучих ножей будут приведены ниже. Для вычисления и анализа качества САР электропривода летучих ножей используется ПК MATLAB [9].

Результаты и обсуждение

Построим модели контуров регулирования в Matlab с целью определения устойчивости и качества регулирования [10, с. 21].

Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) – логарифмической амплитудно-частотной и логарифмической фазо-частотной характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ), переходного процесса для контура регулирования напряжения показаны на рисунке 6.

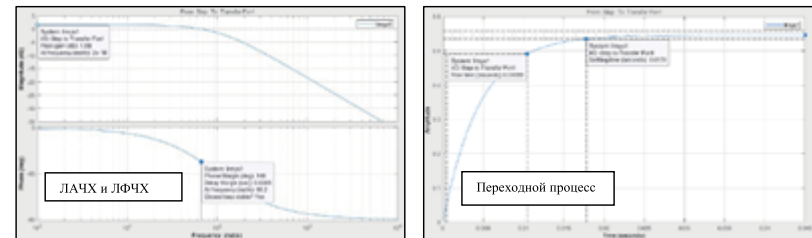


Рисунок 6 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РН

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура напряжения:

- 1 частота среза $\omega_{cp} = 66,2с-1$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 146^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta=0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,00999с$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,0178с$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования тока показаны на рисунке 7.

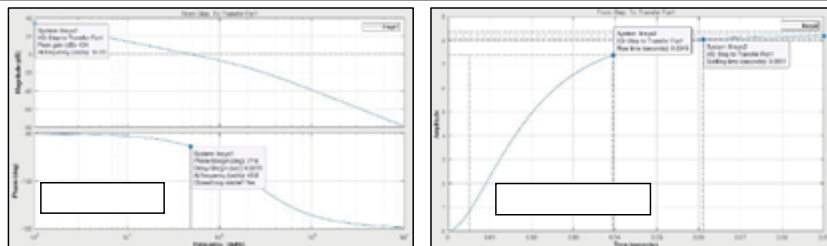


Рисунок 7 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РТ

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура тока:

- 1 частота среза $\omega_{ср} = 48,8с^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 77,6^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,0345с$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,0611с$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования скорости показаны на рисунке 8.

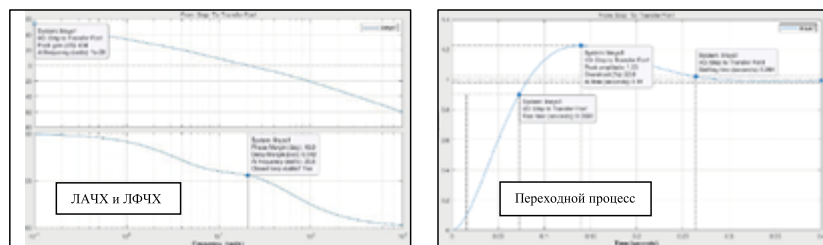


Рисунок 8 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РС

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура скорости:

- 1 частота среза $\omega_{ср} = 20,8с^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 49,9^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 22,6\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,0569с$;
- 5 время достижения первого максимума $t_m = 0,14с$;
- 6 время регулирования $t_p = 0,264с$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования положения показаны на рисунке 9.

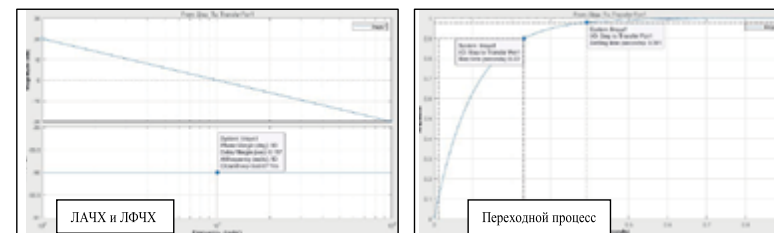


Рисунок 9 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РП

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура положения:

- 1 частота среза $\omega_{ср} = 10с^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 90^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,22с$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,391с$.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) внутренним контуром является контур регулирования напряжения со следующими показателями качества регулирования: $\omega_{ср} = 66,2с^{-1}$, $\Delta\varphi = 146^\circ$, $t_c = 0,00999с$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,0178с$

2) контур регулирования тока является внешним по отношению к контуру регулирования напряжения по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{ср} = 48,8с^{-1}$, $\Delta\varphi = 77,6^\circ$, $t_c = 0,0345с$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,0611с$.

3) контур регулирования скорости является внешним по отношению к контуру регулирования тока по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{ср} = 20,8с^{-1}$, $\Delta\varphi = 49,9^\circ$, $t_c = 0,0569с$, $\sigma = 22,6\%$, $t_m = 0,14с$, $t_p = 0,264с$;

4) контур регулирования положения является внешним по отношению к контуру регулирования скорости по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{ср} = 10с^{-1}$, $\Delta\varphi = 90^\circ$, $t_c = 0,22с$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,391с$.

Таким образом, все контуры имеют необходимый запас устойчивости по фазе и по частоте в соответствии с теорией классических систем подчиненного регулирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Liu Qi, Li Shuo¹, Wang Ying, Liang Kai, Li Baohua¹, Mo Huili, Liu Jinran.** Design of flying shear device and algorithm based on motion control system [Text]. – International Conference on New Materials and Intelligent Manufacturing (ICNMIM), 2018. – No. 1. – P. 257-259 <http://dx.doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.257.259>.
- 2 АО «Qarmet» [Электронный ресурс]. – URL : <https://qarmet.kz>.
- 3 **Страшинин, Е. Э., Заколяпин, А. Д., Трофимов, С. П., Юрлова А. А.** Теория автоматического управления : учебник [Текст]. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, – 2019. – 456 с.
- 4 **Ким, Д. П.** Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов [Текст]. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 276 с.
- 5 **Reyes, C., Gerena, G.** Mathematical modeling of a DC motor with separate excitation [Text]. – Tekhnê, 2018. – Vol. 15, – No. 1, – P. 13 – 20.
- 6 **Юсупова, С. А., Чигамбаев, Т. О.** Системы автоматизированного электропривода : Учебное пособие [Текст]. – Алматы, 2019. – 157 с.
- 7 **Королёв, В. И.** Системы управления электроприводом : учебно-методическое пособие [Текст]. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 79 с.
- 8 **Климушкин, А. Н.** Горячая прокатка полос в листопрокатном цехе № 1 : Технологическая инструкция [Текст]. – Темиртау, 2017. – 125 с.
- 9 Программный комплекс MATLAB [Электронный ресурс] – URL : <https://exponenta.ru/matlab>.
- 10 **Михайлова, П. Г.** Моделирование систем автоматического управления с использованием программной среды MATLAB/Simulink : Лабораторный практикум: учеб. пособие [Текст]. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 76 с.

REFERENCES

- 1 **Liu Qi, Li Shuo¹, Wang Ying, Liang Kai, Li Baohua¹, Mo Huili, Liu Jinran.** Design of flying shear device and algorithm based on motion control system [Text]. – International Conference on New Materials and Intelligent Manufacturing (ICNMIM), 2018, – No. 1. – P. 257–259. <http://dx.doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.257.259>.
- 2 АО «Qarmet» [JSC «Qarmet»] [Electronic resource]. – URL : <https://qarmet.kz>.
- 3 **Strashinin, E. E., Zakalyapin, A.D., Trofimov, S. P., Yurlova A. A.** Teoria avtomaticheskogo upravleniya : učebnik [Theory of automatic control : textbook] [Text]. – Yekaterinburg : Ural University Publishing House, 2019. – 456 p.

- 4 **Kim, D. P.** Teoria avtomaticheskogo upravleniya : učebnik i praktikúm dlá výzov [Theory of automatic control : textbook and workshop for universities] [Text]. – Moscow : Yurait Publishing House, 2024. – 276 p.
- 5 **Reyes, C., Gerena, G.** Mathematical modeling of a DC motor with separate excitation [Text]. – Tekhnê, 2018. – Vol. 15, – No. 1, – P. 13 – 20.
- 6 **Yusupova, S. A., Chigambaev, T. O.** Sistemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : Ýchebnoe posobie [Automated electric drive systems : a tutorial] [Text]. – Almaty, 2019. – 157 p.
- 7 **Korolev, V. I.** Sistemy upravleniya elektroprivodom : učebno-metodicheskoe posobie [Electric drive control systems : an educational and methodological manual] [Text]. – SPb : HSTE SPbSUITD, 2022. – 79 p.
- 8 **Klimushkin, A. N.** Goráchaia prokatka polos v listoprokatnom shehe № 1 : Tehnologicheskaya instrúksiya [Hot rolling of strips in sheet rolling shop No. 1 : Technological instruction] [Text]. – Temirtau, 2017. – 125 p.
- 9 Programmnyy kompleks MATLAB [MATLAB software package] [Electronic resource]. – URL: <https://exponenta.ru/matlab>.
- 10 **Mikhailova, P. G.** Modelirovanie sistem avtomaticheskogo upravleniya s ispolzovaniem programmnoi sredy MATLAB/Simulink : Laboratornyy praktikúm: ýcheb. posobie [Modeling of automatic control systems using the MATLAB/Simulink software environment : Laboratory practice : studies. the manual] [Text]. – Moscow : D. I. Mendeleev Russian university of chemical technology, 2016. – 76 p.

Поступило в редакцию 07.10.24

Поступило с исправлениями 16.10.24

Принято в печать 04.12.24

*Ә. Е. Батырбек¹, Г. А. Сивякова²^{1,2}Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Темиртау қ.

07.10.24 ж. баспаға түсті.

16.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**ЫСТЫҚ ИЛЕМДЕУ ОРНАҒЫНЫҢ ҰШПА ҚАЙШЫСЫНЫҢ
ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ**

Бұл мақалада «Ыстық илемдеу орнағының ұшпа қайшыларында илемдерді кесу үдерісін автоматтандыру» докторлық диссертациясының аясында жасалған ыстық илемдеу ұшпа

қайшылардың электр жетегін автоматты реттеу жүйесі ұсынылған. Мақалада ұшына қайшыны автоматты реттеу жүйесінің негізгі конструкциялары қарастырылады және олардың талаптары анықталады. Ұшына қайшылардың жұмыс істеу принципі, реттеу механизмі, технологиялық үдерісі және реттеу схемасы (кернеу, ток, жылдамдық және орнығу тізбегі) қарастырылады. Әр тізбек бойынша құрылымдық схемалар құрылады және реттеу нысанының берілу функциясы анықталады. MATLAB бағдарламалық кеңінінде ұшына қайшы электр жетегінің автоматты реттеу жүйесінің (АРЖ) сапасын есептеу және талдау жүргізілді. Талдау мен реттеу сапасын анықтау үшін Matlab бағдарламасында контурлардың модельдері (өтпелі процесс, логарифмдік фазалық-жиілік және амплитудалық жиілік сипаттамалары) құрылды. Зерттеу нәтижелері бойынша келесі параметрлер алынды: кесу жиілігі, фазалық тұрақтылық қоры, қайта реттеу, бірінші келісуге қол жеткізу уақыты, бірінші максимумға жету уақыты және реттеу уақыты. Жұмыстың нәтижесінде келесі қорытынды жасауға болады: барлық контурларда классикалық бағынышты реттеу жүйелерінің теориясына сәйкес фазалық және жиілік бойынша қажетті тұрақтылық шегі бар.

Кілтті сөздер: орнақ, MATLAB БК, автоматты реттеу жүйесі, ұшына қайшысы, математикалық модельдеу, электр жетегі.

*А. У. Батырбек¹, Г. А. Сивякова²

^{1,2}Karaganda industrial university, Republic of Kazakhstan, Temirtau

Received 07.10.24

Received in revised form 16.10.24

Accepted for publication 04.12.24

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE FLYING SHEARS OF THE HOT ROLLING MILL

This article presents an automatic control system for the electric drive of hot rolling flying shears, which was developed as part of the doctoral dissertation «Automation of the cutting process by rolling on the flying scissors of the hot rolling mill». The article considers the basic designs of the automatic control system of flying scissors and defines their requirements. The principle of operation, the control mechanism, the technological process and the control scheme (voltage, current, speed and position contour) of the flying scissors are considered. Block diagrams for

each contour are constructed and the transfer function of the regulated object is determined. Calculations and analysis of the quality of the automatic control system (ACS) of the electric drive of flying scissors were performed in the MATLAB software package. To determine the analysis and quality of regulation, models of contours in Matlab (transient and logarithmic amplitude-frequency with phase-frequency response) were built. According to the results of the study, the following parameters were obtained: cutoff frequency, phase stability margin, overshoot, time to achieve the first agreement, time to reach the first maximum and control time. As a result of the work, the following conclusion can be drawn: all contours have the necessary stability margin in phase and frequency in accordance with the theory of classical subordinate control systems.

Keywords: mill, MATLAB SP, automatic control system, flying scissors, mathematical modeling, electric drive.

<https://doi.org/10.48081/VLGP1785>

**S. T. Begaliev¹, *S. Zh. Ashimova², M. A. Yelubay³,
G. S. Aitkaliyeva⁴**

¹JSC Kazakhstan Highway Research Institute,
Republic of Kazakhstan, Almaty

²JSC «Kazakhstan Highway Research Institute»,
Republic of Kazakhstan, Almaty,

²Abai University, Republic of Kazakhstan, Almaty

³Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

⁴Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9813-1323>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4070-6430>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>

*e-mail: s.ashimova@qazjolgzi.kz, yelubay.m@tou.edu.kz

STUDY OF THE GROUP COMPOSITION OF BITUMENS AND ITS POTENTIAL INFLUENCE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND ENERGY EFFICIENCY

This article discusses bitumen materials as an important material in the energy sector due to its high energy intensity. The influence of the group chemical composition of road bitumen on their physical and mechanical properties during commissioning of production is studied. Particular attention is paid to the relationship between the chemical composition and properties of bitumen, which is important for its processing and use as a raw material for alternative energy sources. The results of a study of the influence of the group composition on the rutting of asphalt concrete, which is one of the main indicators of the performance of asphalt concrete, are also presented. These studies will help to adjust the oxidation process of tar to obtain high-quality bitumen material with specified characteristics that will meet all the requirements of regulatory and technical documentation. The findings of the study highlight the importance of detailed analysis of bitumen to optimize its use, improve energy efficiency and reduce environmental impact. The article aims to broaden the understanding of

the role of bitumen in the modern world and its potential in the context of sustainable development.

Keywords: resins, oils, asphaltenes, bitumen, chromatography.

Introduction

Bitumen plays an important role in the energy sector due to its unique properties, which are directly related to its chemical composition. Its thermal insulation properties and durability make it an indispensable material in infrastructure construction, which in turn contributes to energy efficiency. In addition, the composition of bitumen affects its processing into alternative energy sources, which opens up new horizons for the use of this material in energy technologies. Thus, bitumen not only serves as a building material, but also has the potential to be an important element in a sustainable energy future.

Bitumen is an organic material mainly composed of hydrocarbons, heteroatoms (oxygen, nitrogen and sulfur, traces of metals) [1, P. 2], and is becoming a viable option today due to its abundance and high energy density. Bitumen binder is an adhesive material that holds mineral aggregate particles together in a composite used in road paving processes [2, P. 18–20]. It is a product of a petroleum refining operation in which the residue obtained after distillation of crude oil is processed by air blowing or solvent methods to obtain a product that meets specifications for various types of road/highway construction and other applications [2, P. 20; 3, P. 26].

The number of different chemical structures in bitumen reaches almost 100,000, which makes it impossible to identify and study the behavior of each of these molecules. However, it is common practice to separate bitumen and other petroleum products into different fractions [4, p. 1].

Experience has shown that for solving a number of technical problems it is quite sufficient to determine the presence and content of individual classes or groups of substances that make up the bitumen. Typically, there are four general (but not chemical) classes of compounds (SARA) for bitumen binder [5, P. 1]:

- 1) saturated hydrocarbons, which correlate with the softening point of the material and are empirically measured by the penetration index;
- 2) aromatic and naphthenic components, which are partially hydrogenated aromatic compounds;
- 3) resins, sometimes called polar aromatics, which contain various alkyl residues and functional groups,
- 4) asphaltene molecules consisting of a conjugated carbon core containing functional groups and heterocyclic compounds and bearing alkyl side chains grafted directly onto these cores.

Asphaltenes are associated with highly aromatic (H/C~1.0–1.3) and high-molecular molecules [6, p. 2], while resins have a higher H/C ratio (1.2–1.7), lower aromaticity, and lower molecular weight than asphaltenes [7, P. 1; 8, P. 3–4]. Oils and resins are usually combined under the term maltenes. The division into these components is based on their solubility in various solvents. The ratio of these components determines the dispersed structure and characteristics of bitumens. In contrast to the elemental composition, the problem of fully identifying all hydrocarbons and other organic compounds that comprise bitumen is considered virtually insoluble [9, P. 24].

The different hydrocarbons in bitumen (paraffin, naphthenic, aromatic) have different energy characteristics. For example, aromatic hydrocarbons have a high calorific value, which can increase the energy efficiency of bitumen when processed into fuel. High asphaltene content can hinder the combustion process and reduce the overall energy released during combustion. However, some attempts have recently been made to utilize asphaltenes, including the development of a gasification method to convert asphaltenes into gaseous fuel [10, P. 15]; however, gasification is an expensive process that creates significant environmental pollution [11, p. 5]. Since bitumen composition affects both its energy characteristics and potential applications, it is necessary study the group composition of bitumen and its physicochemical properties to carefully.

The research in this paper is aimed at determining the effect of the group chemical composition of bitumen on its physicochemical properties and possible ways of their effective application.

Materials and methods

Kazakhstan Road Research Institute JSC has been testing the group chemical composition of bitumen since 2008. The studies are conducted using the BashNII NP method on a Gradient M liquid chromatograph (Figure 1) manufactured in Ufa.

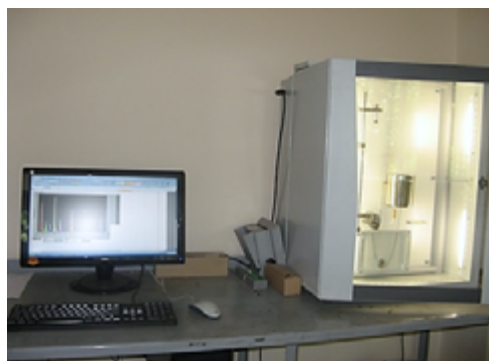


Figure 1 – Chromatograph «Gradient M»

The method is based on the principle of liquid adsorption chromatography with gradient displacement and separation of hydrocarbons into seven groups: paraffin-naphthenic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons (light, medium and heavy aromatics), resins (petroleum-benzene (1) and alcohol-benzene (2)) and asphaltenes. Determination of the group chemical composition is carried out in a single chromatographic process.

For the chromatographic separation of heavy oil residues, eluents are used, which are two mixtures of solvents. The first is intended for separation of the maltene part, the second for desorption of asphaltenes. Silica gel ASK is used as an adsorbent.

To determine the group chemical composition, 0.1 g of the sample is taken from the analyzed bitumen sample, which is diluted with a sevenfold solution of benzene and cyclohexane in a ratio of 1:1. A sample of 1 µl is taken from the finished (solution) sample using a microsyringe and injected into a chromatographic column filled with silica gel. Then the column with the sample is installed in the chromatograph and studies are carried out to determine the group chemical composition: first, the maltene part is separated (the first 6 chromatographic peaks), then the asphaltene part (the 7th peak) [12, p. 151].

The bitumen chromatogram is shown in Figure 2.

These fractions, based on polarity, have unique properties for the overall composition. Asphaltenes, characterized by high molecular weight and aromatic nature, play a key role in viscoelastic properties. Maltenes, lighter and more soluble components, contribute to the flexibility and adhesive characteristics of the binder. In addition, the maltenes fraction can be further separated into so-called saturated (naphthenic) aromatics and resins (or polar aromatics) based on the polarity gradient in the material, which together with asphaltenes leads to the acronym “SARA” fraction.

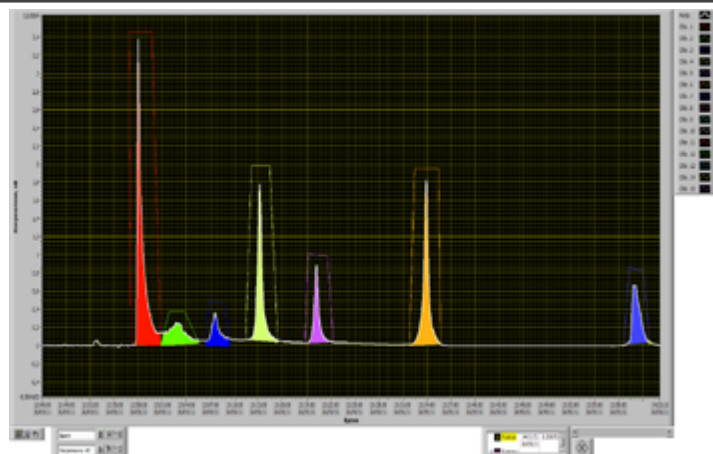


Figure 2 – Typical chromatogram of the group-chemical composition of road bitumen: paraffin-naphthenic hydrocarbons (peak No. 1), aromatic hydrocarbons (light (peak No. 2), medium (peak No. 3) and heavy aromatics (peak No. 4), resins (1 (peak No. 5) and 2 (peak No. 6) and asphaltenes (peak No. 7)

The chromatograms are calculated using the internal normalization method, by measuring the peak areas recorded on the chromatogram according to the formula:

$$S = h \cdot a$$

where h is the peak height, mm

a is the peak width, mm.

Results and discussion

Today, there are four major producers of road bitumen in the Republic of Kazakhstan, which produce bitumen grades road petroleum bitumen (BND) BND 35/50, BND 50/70, BND 70/100, BND 100/130, BND 130/200, BMP 35/50, BMP 50/70, BMP 70/100 and BMP 100/130. All grades of bitumen are obtained by oxidation of tar. For these bitumens, an analysis of the group composition was carried out and the grade of bitumen was determined. The group analysis of the analyzed bitumens is presented in Table 1.

Table 1 – Group chemical composition of Republic of Kazakhstan bitumens

Manufacturer	Bitumen brand	Asphaltenes, %	Oils, %	Resins, %
Manufacturer 1	BND 70/100	20-23	48-49	31-32
	BND 100/130	13-14	50-52	29,5-31

Manufacturer 2	BND 70/100	15-18	50-52	31-35,5
Manufacturer 3	BND 70/100	15-18	49-51	31-34
Manufacturer 4	BND 100/130	12-13	60-62	28-30
	BND 70/100	12-15	57-60	35,4

According to Table 1, it can be said that the asphaltene content in BND 70/100 grade bitumen is higher than that of BND 100/130 grade, which indicates that the higher the penetration, the lower the asphaltene content, which imparts hardness and heat resistance to bitumen. The oil content in BND 70/100 grade is less than in BND 100/130 grade, which reduces their viscosity, softening point and brittleness, increases penetration and flash point. The amount of resins does not depend on the grade of bitumen, is comparable in both grades and is responsible for the extensibility of the bitumen.

Table 2 shows the results of the study to determine the effect of group chemical composition on the physical and mechanical properties of BND 70/100 grade bitumen during commissioning of production.

Table 2 – Effects of group chemical composition on the physical and mechanical properties of BND 70/100 grade bitumen

Test date	P ₂₅	KaSh	D ₂₅	T _{xp}	Steam-naphthenes	Oils	Resins	Asphaltenes
04.02.22	71	49	>150	-20	24,2	48,2	33,9	17,9
12.04.22	74	49	>150	-20	28,7	49,8	31,9	18,3
04.05.22	83	48	>150	-23	32,3	53,3	29,7	17,0-
15.06.22	84	48	>150	-21	28,5	52,0	31,0	17,0
11.07.22	84	48	>150	-22	32,3	51,1	31,9	17,0
02.08.22	83	48	>150	-22	32,3	53,1	30,9	16,0
18.10.22	78	49	>150	-23	28,5	52	30,4	17,6
26.04.23	83	48	>150	-22	32,3	53,3	29,7	17,0
07.07.23	73	49	>150	-21	28,2	48,8	32,7	18,5
20.09.23	88	47	>150	-22	33,1	54,1	29	16,9

The penetration index at 25 °C is used to determine the grade of bitumen and characterizes the deformation resistance of bitumen. The softening temperature can be used to judge the plasticity of bitumen and the upper thermal limit of their

application. It follows from the literature that with an increase in the asphaltene content, the penetration of all the studied bitumen samples decreases, and the softening temperature increases, as shown in Table 2.

The brittleness temperature characterizes the state of the colloidal system of bitumen, at which they lose plasticity and turn into a solid. This indicator can be used to assess the frost resistance of bitumen and the lower temperature limit of their application. It is believed that with an increase in the oil content, the brittleness temperature decreases.

Resins have a positive effect on ductility (stretchability) at 25 °C. Ductility is a property that amorphous solids have. This indicator indirectly reflects the viscosity characteristics and determines the behavior of bitumen in the composition of asphalt concrete pavements under operating conditions in warm and cold periods of the year. In this case, the extensibility at 25 °C is determined mainly by the resin content.

Using the example of the above bitumen manufacturers 1 and 4, we can trace the influence of the content of asphaltenes and oils on the quality of asphalt concrete. One of the tests that determines the quality of asphalt concrete is rutting resistance. This test was developed to assess the resistance of asphalt concrete to rutting in laboratory conditions, simulating the impact of motor vehicles on the road surface.

Figure 3 shows a graph where the track of the asphalt concrete mixture with bitumen from manufacturer 4 is 7.25 mm, and with bitumen of the same brand from manufacturer 1 is 4.85 mm.

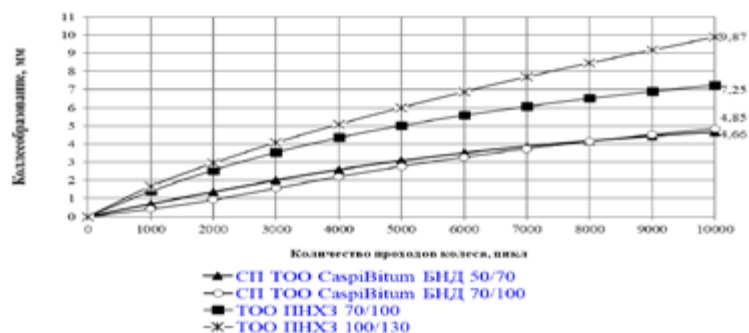


Figure 3 - Graph of the dependence of rut formation on the number (cycles) of wheel passage, where

- ▲ – manufacturer 4 (BND 100/130); ○ – manufacturer 4 (BND 70/100);
- – manufacturer 1 (BND 70/100); × – manufacturer 1 (BND 50/70)

Based on the obtained group composition data, it follows that the higher the penetration, the higher the oil content and the lower the asphaltene content, which affects the rutting of asphalt concrete. Based on this, in the northern regions, it is recommended to use BND 100/130 bitumen with penetration values at 25 °C not higher than 100-110×0.1 mm and a softening temperature above 45 °C to increase the resistance of asphalt concrete to rutting.

Financing information

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22786142 Utilization of oily waste as a potential rejuvenator in reclaimed asphalt pavement).

Conclusions

The study of bitumens and their group composition opens up new horizons in understanding their energy capacity and application. Bitumens not only serve as the main building material, but also have potential in the energy sector, which makes them important in the context of sustainable development. Determination of the group composition allows tracking changes in the composition of products during vacuum distillation, changes in the chemical composition during the oxidation of raw materials into bitumen, as well as changes in the component composition of bitumen during their accelerated aging, which is very important for establishing the true mechanism and intensity of various processes during bitumen aging. Based on the results of the physical and mechanical properties and group composition of bitumen, it is clear that at the beginning of the year, when adjustment work is underway after the plant is shut down for the winter, the bitumen is slightly worse in quality, although it meets the requirements of ST RK 1373 (needle penetration depth at 25 °C and brittleness temperature at the limit of standard requirements). However, over time (May-June), the bitumen production technology is worked out, the quality of the bitumen improves, as evidenced by the results obtained. Understanding the relationship between the chemical composition of bitumen and its characteristics can lead to more efficient processing and use methods, as well as to a decrease in the impact on the environment. Future research in this area could lead to innovative solutions that will ultimately help optimize resource use and improve energy efficiency.

Improving the properties of bitumen will lead to more efficient use of the material, increasing overall energy efficiency and reducing the negative impact on the environment.

REFERENCES

- 1 **Porto, M., Angelico, R., Caputo, P., Abe, A. A., Teltayev, B., Rossi, C. O.** The Structure of Bitumen: Conceptual Models and Experimental Evidences. *Materials*. –2022. –№ 15, 905. <https://doi.org/10.3390/ma15030905>
- 2 **Speight, J. G.** *The Chemistry and Technology of Petroleum*, 5th ed.; CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- 3 **Speight, J. G.** *Asphalt Materials Science and Technology*; Butterworth-Heinemann: Boston, MA, USA, 2016.
- 4 **Primerano, K.** Asphaltenes and maltenes in crude oil and bitumen: A comprehensive review of properties, separation methods, and insights into structure, reactivity and aging. *Fuel*. –2024. –№ 368.
- 5 ASTM D4124; Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions Annual Book of Standards. ASTM International : West Conshohocken, PA, USA, 2014.
- 6 **Moir, M. E.** Asphaltenes, What Art Thou? In *The Boduszynski Continuum: Contributions to the Understanding of the Molecular Composition of Petroleum*; American Chemical Society (ACS): Washington, DC, USA, 2018, V. 1282, 3–24.
- 7 **Sedghi, M., Goual, L.** Role of resins on asphaltene stability. *Energy Fuels*. –2010. –№24, 2275–2280.
- 8 **Fakher, S., Ahdaya, M., Elturki, M., Imqam, A.** Critical review of asphaltene properties and factors impacting its stability in crude oil. *J. Pet. Explor. Prod. Technol.* – 2020. –№ 10, 1183–1200.
- 9 **Gun, R.B.** *Petroleum bitumens*. – М. : Chemistry, 1973, 548 p.
- 10 **Alipour, M., Kurian, V., Dhir, S., Gupta, R.** Analysis of syngas cooler fouling from asphaltene gasification. *Fuel Process. Technol.* – 2016. –№ 152, 7–14.
- 11 **Ashtari, M.** New pathways for asphaltenes upgrading via oxy-cracking in liquid phase. In *Chemical Engineering*; University of Calgary : Calgary, AB, Canada, 2016.
- 12 **Kutin, Yu.A., Telyashev, Z.G.** Bitumen and bituminous materials. Standards, quality, technology. – Ufa : State Unitary Enterprise INHP RB, 2018. – 272 p.

Received 11.10.24

Received in revised form 23.10.24

Accepted for publication 04.12.24

*С. Т. Бегалиева¹, *С. Ж. Ашимова², М. А. Елубай³, Г. С. Айткалиева⁴*

¹Қазақстан жол ғылыми – зерттеу институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²Абай университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

³Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁴Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

11.10.24 ж. баспаға түсті.

23.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БИТУМДАР ТОП ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРГЕ ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІНЕ ОНЫҢ ӘЛЕУЕТТІ ӘСЕРІ

Бұл мақалада битумды материалдар жоғары энергия сыйымдылығына байланысты энергетикалық сектордағы маңызды материал ретінде қарастырылады. Өндірістерді іске қосу кезінде жол битумдарының топтық химиялық құрамының олардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері зерттеледі. Битумның химиялық құрамы мен қасиеттері арасындағы байланысқа ерекше назар аударылады, бұл оны өңдеу және баламалы энергия көздерінің шикізаты ретінде пайдалану үшін маңызды. Сондай-ақ асфальтбетонның өнімділік сапаларының негізгі көрсеткіштерінің бірі болып табылатын асфальтбетонның ойықтарына топтық құрамының әсерін зерттеу нәтижелері берілген. Бұл зерттеулер нормативтік-техникалық құжаттаманың барлық талаптарына сәйкес келетін, көрсетілген сипаттамалары бар жоғары сапалы битум материалын алу үшін гидронның тотығу процесін реттеуге көмектеседі. Зерттеу нәтижелері оны қолдануды оңтайландыру, энергия тиімділігін арттыру және қоршаған ортаға әсерді азайту үшін битумды талдаудың маңыздылығын көрсетеді. Мақала қазіргі әлемдегі битумдардың ролі және олардың тұрақты даму контекстіндегі әлеуеті туралы түсінікті кеңейтуге бағытталған.

Кілтті сөздер: шайырлар, майлар, асфальттендер, битумдар, хроматография.

С. Т. Бегалиева¹, *С. Ж. Ашимова², М. А. Елубай³, Г. С. Айткалиева⁴

¹Казахстанский дорожный научно – исследовательский институт»,

Республика Казахстан, г. Алматы

²Abai University», Республика Казахстан, г. Алматы

³Toraighyrov University», Республика Казахстан, г. Павлодар

⁴Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 11.10.24

Поступило с исправлениями 23.10.24

Принято в печать 04.12.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА БИТУМОВ \ И ЕГО ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В данной статье рассматриваются битумные материалы как важный материал в энергетическом секторе ввиду его высокой энергоёмкости. Исследуется влияния группового химического состава дорожных битумов на их физико-механические свойства во время пуско-наладочных работ производства. Особенное внимание уделяется взаимосвязи между химическим составом и свойствами битума, что имеет значение для его переработки и использования в качестве сырья для альтернативных источников энергии. Также представлены результаты исследования влияния группового состава на коэзионность асфальтобетона, что является одним из основных показателей эксплуатационных качеств асфальтобетона. Данные исследования помогут корректировать процесс окисления гудрона для получения качественного битумного материала с заданными характеристиками, который будет соответствовать всем требованиям нормативно-технической документации. Выводы исследования подчеркивают важность детального анализа битумов для оптимизации их применения, повышения энергетической эффективности и снижения экологического воздействия. Статья направлена на расширение понимания роли битумов в современном мире и их потенциала в контексте устойчивого развития.

Ключевые слова: смолы, масла, асфальтены, битумы, хроматография.

МРНТИ 28.23.25

<https://doi.org/10.48081/SBNX6100>

***К. С. Беисова¹, Л. А. Авдеев², Ш. З. Телбаева³, С. В. Войткевич⁴, В. А. Иванов⁵**

^{1,2,3,4,5}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5744-3868>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-5823>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6208-4113>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4267-3468>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2811-7908>

*e-mail: k.beisova@mail.ru

ДООБУЧЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ И ОЗВУЧИВАНИЯ ОТВЕТОВ

В данной статье исследуются процессы, реализуемые при дообучении большой языковой модели (англ. large language model, далее – LLM) для обработки лекций в университетах и получения ответов на вопросы, заданные студентами, а также для озвучивания этих ответов. Таким образом, целью данного исследования является описание возможностей, возникающих при помощи использования LLM в образовании и, в частности, в автоматизации методов поддержки образовательного процесса. В этом исследовании также описаны этапы подготовки данных, дообучения по образовательным ресурсам во время установки и при необходимости настройки модели. Такая языковая модель, предназначенная для обработки и анализа текстов лекций, разработки алгоритмов генерации ответов на вопросы студентов и их озвучивания, является основным элементом данного исследования. В статье поэтапно описывается, как выбрать и установить необходимые программные компоненты, методика подготовки и обработки данных для последующего обучения модели, а также интеграция технологий преобразования текста в речь. Таким образом, полученные результаты показывают эффективность модели предварительного обучения в отношении понимания вопросов и ответов на них с использованием учебных материалов, что может значительно улучшить качество образовательного процесса. LLM

может быть использована при разработке интеллектуальных систем поддержки студентов и преподавателей за счет повышения интерактивности обучения посредством генерации и озвучивания ответов.

Ключевые слова: большие языковые модели, анализ данных, генерация ответов, установка моделей, дообучение моделей, автоматизация учебного процесса.

Введение

В настоящее время тематика искусственного интеллекта охватывает огромный перечень научных направлений, начиная с таких задач общего характера, как обучение и восприятие, и заканчивая такими специальными задачами, как игра в шахматы, доказательство математических теорем, сочинение поэтических произведений и диагностика заболеваний [1].

Современный термин «глубокое обучение» выходит за рамки нейробиологического взгляда на модели машинного обучения [2]. Наиболее успешные алгоритмы машинного обучения – это те, которые автоматизируют процессы принятия решений путем обобщения известных примеров [3].

Актуальность темы обусловлена растущим интересом к применению искусственного интеллекта в образовательной сфере.

Данная исследовательская работа посвящена рассмотрению процесса установки и дообучения LLM, направленного на улучшение качества образовательного процесса. В работе также представлены этапы настройки моделей, а также анализ их эффективности при обработке учебного материала, генерации и озвучивания ответов.

Практическая значимость работы заключается в создании инструментов, которые могут быть использованы для повышения интерактивности и доступности учебного контента.

Материалы и методы

Машинное обучение способно выполнять широкий спектр задач: изменение изображений, помощь в письме, обработка звука, генерация текста [4]. Однако в этой статье будет затронута последняя задача из данного списка.

Для генерации ответов использовались такие LLM, как упрощенный вариант модели GPT-2 (англ. Distilled GPT-2, далее – DistilGPT2) и упрощенный вариант модели BERT (англ. Distilled BERT, далее – DistilBERT).

Следующий шаг – это набор образовательных материалов с текстовыми данными, сведенными в таблицу в формате CSV (англ. Comma-Separated Values – значения, разделенные запятыми, далее – CSV) с использованием блоков таблиц и подразделов. Данный набор был использован в качестве обучающих данных для этой модели.

Среди нескольких пакетов или библиотек, использованных в этой работе, стоит упомянуть Python – основной язык программирования для анализа данных. Все вычислительные ресурсы и среды разработки были представлены с использованием среды Google Colab.

Ниже представлены основные библиотеки, использованные в исследовании:

Библиотека gtts (англ. Google Text-to-Speech – преобразование текста в речь, далее – gtts) для преобразования текста в речь и воспроизведения ответов модели в аудиоформате.

Библиотека transformers для работы с языковыми моделями, включающая такие функции, как токенизация текста, настройка и дообучение модели, генерация текстовых ответов.

Токенизация в сфере обработки естественного языка и машинного обучения – это процесс преобразования последовательности текста в более мелкие части, известные как токены. Токены могут быть размером с буквы или символы, или длиной со слова. [5].

Библиотека pandas для обработки данных.

Все эти процессы предполагают подготовку данных, создание модели и дополнительных элементов. Прежде всего, данные об обучении должны быть собраны, а затем переведены в необходимый формат CSV таким образом, чтобы каждая строка соответствовала отдельному блоку учебного материала.

Используемая далее модель DistilGPT2 дополнительно поддерживается библиотекой transformers от компании Hugging Face.

Платформа Hugging Face – это коллекция готовых современных предварительно обученных Deep Learning моделей. А библиотека Transformers предоставляет инструменты и интерфейсы для их простой загрузки и использования. Это позволит сэкономить время и ресурсы, необходимые для обучения моделей с нуля [6].

DistilGPT2 отличается высокой функциональностью для выполнения дальнейшего обучения на подготовленных обучающих данных. Такой подход позволит модели лучше выявлять закономерности в отношении последовательных и контекстуально значимых ответов с учетом предоставленной информации.

Весь процесс работы включал в себя несколько этапов, которые помогли достичь целей, поставленных перед исследованием. Первым этапом являлся сбор текстовых данных, который использовался для дообучения модели. После этого была произведена установка, настройка, а также дальнейшее дообучение модели DistilGPT2, чтобы она давала ответы, соответствующие входным данным. Наряду с этим, использовалась также модель DistilBERT для подтверждения соответствия полученных ответов заданному контексту.

И заключительный этап данного исследования – преобразование текстовых ответов с помощью модуля gTTS в аудио.

Результаты и обсуждение

Для того чтобы понять, насколько эффективно LLM можно использовать в образовательном контексте, необходимо провести всесторонний анализ всех этапов: от настройки до дальнейшей интеграции с модулями, что включает в себя выбор моделей, настройку и дальнейшее обучение, проверку результатов, интеграцию в систему преобразования текста в речь.

Прежде всего, были проведены отбор и подготовка моделей. Для получения ответов в качестве основной модели была выбрана DistilGPT2, которая хоть и представляет собой упрощенный вариант модели GPT-2, но при этом обладает хорошим качеством генерации текстов без использования больших компьютерных мощностей. В связи с этим, с помощью библиотеки Transformers от Hugging Face была проведена настройка и дальнейшее дообучение модели, что позволило ей адаптироваться к входным данным.

На рисунке 1 показана установка библиотек и импорт модулей, которые будут использоваться при работе с большими языковыми моделями и данными:

!pip install datasets – устанавливает набор данных, предоставляющий инструменты для загрузки и предварительной обработки данных.

!pip install gtts – устанавливает библиотеку gtts для преобразования текста в аудиофайлы.

!pip install transformers – устанавливает библиотеку transformers, которая включает в себя инструменты для работы с такими моделями, как DistilGPT2 и DistilBERT.

from transformers import GPT2Tokenizer, GPT2LMHeadModel, Trainer, TrainingArguments, pipeline – импортирует классы и функции из библиотеки transformers. GPT2Tokenizer и GPT2LMHeadModel необходимы в работе с моделью DistilGPT2. Trainer и TrainingArguments настраивают и выполняют обучение. Библиотека pipeline предназначена для упрощения задач, связанных с обработкой естественного языка.

from datasets import load_dataset pipeline – импортирует функцию load_dataset из библиотеки datasets для загрузки наборов данных из библиотек. Таким образом, она подготавливает эти данные для обучения модели.

import pandas as pd pipeline – импортирует библиотеку pandas для обработки данных в табличной форме.

from gtts import gTTS pipeline – импортирует класс gTTS из библиотеки gtts. Класс gTTS расшифровывается также, как и библиотека gtts (Google Text-to-Speech – преобразование текста в речь). Он используется для реализации функции преобразования текста в речь.

from IPython.display import Audio, display pipeline – импортирует функцию Audio и display из модуля IPython.display для воспроизведения.

```
!pip install datasets
!pip install gtts
!pip install transformers

from transformers import GPT2Tokenizer, GPT2LMHeadModel, Trainer, TrainingArguments, pipeline
from datasets import load_dataset
import pandas as pd
from gtts import gTTS
from IPython.display import Audio, display
```

Рисунок 1 – Установка библиотек и импорт модулей

На рисунке 2 представлены шаги для загрузки как токенизатора, так и модели DistilGPT2.

```
tokenizer = GPT2Tokenizer.from_pretrained('distilgpt2')
model = GPT2LMHeadModel.from_pretrained('distilgpt2')
```

Рисунок 2 – Загрузка токенизатора и модели DistilGPT2

На рисунке 3 показаны команды, которые нужны, чтобы проверить, есть ли у токенизатора DistilGPT2 маркер заполнения, и, если нет, как его добавить.

Маркер заполнения – это специальный символ для выравнивания текстов разной длины, поэтому все они будут обрабатываться одинаково.

```
if tokenizer.pad_token is None:
    tokenizer.add_special_tokens({'pad_token': '<PAD>'})
    tokenizer.pad_token_id = tokenizer.convert_tokens_to_ids('<PAD>')
    model.resize_token_embeddings(len(tokenizer))
```

Рисунок 3 – Проверка наличия токена заполнения

На рисунке 4 изображены команды, которые упрощают процесс загрузки данных из CSV-файла в DataFrame, представляющий собой табличный формат данных в библиотеке pandas.

DataFrame – это проиндексированный многомерный массив значений [7].

Следующие команды преобразуют эти данные и токенизируют. Токенизация здесь также выполняет роль заполнения и обрезки последовательности текста до определенной длины для последующего обучения модели.


```

if tokenizer.pad_token is None:
    tokenizer.add_special_tokens({'pad_token': '<PAD>'})
    tokenizer.pad_token_id = tokenizer.convert_tokens_to_ids('<PAD>')
    model.resize_token_embeddings(len(tokenizer))

df = pd.read_csv('training_data.csv', delimiter=',', encoding='utf-8')

texts = df['content'].tolist()

data = {'text': texts}
df = pd.DataFrame(data)
df.to_csv('text_data.csv', index=False)

dataset = load_dataset('csv', data_files={'train': 'text_data.csv'})

def tokenize_function(examples):
    encodings = tokenizer(examples['text'], truncation=True, padding='max_length', max_length=512)
    encodings['labels'] = encodings['input_ids'] # Используем те же идентификаторы токенов как метки
    return encodings

tokenized_datasets = dataset.map(tokenize_function, batched=True)

```

Рисунок 4 – Загрузка и подготовка данных для обучения

Существует два подхода к задаче построения нейронной сети-классификатора. Первый подход заключается в построении сети, варьируя архитектуру. Данный метод основан на точной классификации прецедентов. Второй подход состоит в подборке параметров (весов и порогов) для сети с заданной архитектурой [8].

Ниже на рисунке 5 рассмотрен процесс применения второго подхода, а именно: как устанавливаются некоторые из параметров обучения и как выполняется сам процесс. В этом фрагменте кода задаются следующие параметры: директория для сохранения результатов, стратегия оценки, скорость обучения, которая в основном определяет, насколько сильно обновляются веса модели во время обучения, или, другими словами, параметры, которые модель обучается настраивать во время обучения, размер батча означает, сколько примеров обрабатывается одновременно при одном обновлении параметров модели. Количество эпох представляет собой количество периодов, которые являются скалярным числом, указывающим, как часто алгоритм обучения будет проходить через весь набор обучающих данных, и, наконец, коэффициент веса для регуляризации, который поможет избежать переобучения, добавляя штраф за большие значения весов модели. После настройки всего этого был инициализирован объект класса Trainer с заданными параметрами вместе с выбранным набором данных, и запущено фактическое обучение модели.

Описание объекта – это определение его свойств и методов, которые этот объект может принимать [9].

```

training_args = TrainingArguments(
    output_dir='./results', # Директория для сохранения результатов обучения
    evaluation_strategy='no', # Оценка модели во время тренировки не проводится
    learning_rate=2e-5, # Скорость обучения модели
    per_device_train_batch_size=2, # Размер батча для обучения модели на каждом устройстве
    per_device_eval_batch_size=2, # Размер батча для оценки модели на каждом устройстве
    num_train_epochs=3, # Количество эпох для обучения модели
    weight_decay=0.01, # Коэффициент веса для регуляризации
)

trainer = Trainer(
    model=model,
    args=training_args,
    train_dataset=tokenized_datasets['train'],
    eval_dataset=tokenized_datasets['train'] # Используем тот же набор данных для оценки
)

trainer.train()

```

Рисунок 5 – Настройка и запуск тренировки модели

На рисунке 6 приведены команды для сохранения и загрузки модели и токенизатора, а также настройка параметров генерации ответа.

```

model.save_pretrained('./results')
tokenizer.save_pretrained('./results')
model = GPT2LMHeadModel.from_pretrained('./results') # Путь к сохраненной модели
tokenizer = GPT2Tokenizer.from_pretrained('./results') # Путь к сохраненному токенизатору

question = "Based on the context, what is a robot?"

input_ids = tokenizer.encode(question, return_tensors='pt')

output = model.generate(
    input_ids, # Входные данные для генерации текста
    max_length=150, # Максимальная длина ответа
    num_return_sequences=1, # Количество генерируемых последовательностей
    temperature=0.7, # Контроль случайности
    top_k=50, # Ограничение на количество наиболее вероятных токенов
    top_p=0.9, # Условие для nucleus sampling (суммарная вероятность)
    pad_token_id=tokenizer.eos_token_id # Идентификатор токена paddingа
)

generated_text = tokenizer.decode(output[0], skip_special_tokens=True)

```

Рисунок 6 – Настройка параметров генерации ответа

Следующим шагом является загрузка модели DistilBERT для проверки сгенерированных ответов, а также задаваемый модели вопрос согласно входным данным, как показано на рисунке 7.

```

nlp = pipeline("question-answering", model="distilbert-base-uncased-distilled-squad")

context = '\n'.join(texts)
question = "Based on the context, what is a robot?"

```

Рисунок 7 – Проверка ответа с использованием модели BERT

На рисунке 8 более подробно описывается, как генерируется и отображается ответ на экране, что является конечным результатом всего этого процесса.

```
result = nlp(question=question, context=context)
print("BERT Validation Answer:", result['answer'])
```

🔊 BERT Validation Answer: an automatic machine that combines the properties of working and information machine

Рисунок 8 – Сгенерированный ответ

На рисунке 9 представлен процесс интеграции системы преобразования текста в речь с использованием класса gTTS: создание аудиофайла с сгенерированным ответом, сохранение и воспроизведение его для прослушивания.

Однако это не единственный способ применить данную библиотеку. Она предоставляет множество языков и настроек, таких как скорость речи, голос и многие другие [10].

```
# Шаг 1: Создание объекта gTTS с ответом от BERT
bert_answer = result['answer'] # Извлекаем ответ из результата BERT
tts = gTTS(text=bert_answer, lang='en')
```

```
# Шаг 2: Сохранение аудио файла
tts.save("output.mp3")
```

```
# Шаг 3: Озвучивание ответа
audio = Audio("output.mp3", autoplay=True)
display(audio)
```

▶ 0:00 / 0:05 🔊 ⋮

Рисунок 9 – Создание и воспроизведение аудиофайла с сгенерированным ответом

Выводы

Таким образом, на текущем этапе работы достигнуты обзорные результаты в разработке и интеграции системы, объединяющей генерацию текстовых ответов и преобразование их в аудиоформат. Выбор модели DistilGPT2 для генерации текстов обеспечил эффективное использование

ограниченного количества вычислительных ресурсов при сохранении качества результатов.

Интеграция DistilBERT для проверки качества сгенерированных ответов позволила повысить точность и релевантность выходных данных. Также была реализована интеграция текстово-речевой системы с помощью библиотеки gTTS, что позволило преобразовать текстовые ответы в аудиоформат и воспроизвести их.

Результаты показывают, что данный подход корректно справляется со сложностями, возникающими при генерации и проверке ответов и выполняет свою задачу преобразования таких ответов в аудио. Однако, в перспективе есть возможность рассмотреть способы улучшения модели. Дополнение может быть реализовано с использованием более сложных алгоритмов. Таким образом, система станет более точной, что позволит расширить её возможности и адаптировать её к более сложным задачам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Рассел, С., Норвиг, П.** Искусственный интеллект : современный подход, 2-е изд. [Текст] // Издательский дом «Вильямс» – 2007. – 34 с.
- 2 **Гудфеллоу, Я., Бенджио, И., Курвилль, А.** Глубокое обучение [Текст] // пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М. : ДМК Пресс – 2018. – 32 с.
- 3 **Мюллер, А., Гвидо, С.** Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными [Текст] // ООО «Альфа-книга» – 2017. – 14 с.
- 4 **Капаца, Е.** Машинное обучение доступным языком [Текст] // «Автор» – 2023. – 8 с.
- 5 Что такое токенизация? [Электронный ресурс]. – <https://nft.ru/article/что-такое-tokenizatsiia-1011> (Дата обращения: 09.09.2024).
- 6 Введение в библиотеку Transformers и платформу Hugging Face [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/articles/704592/> (Дата обращения: 09.09.2024).
- 7 Введение в анализ данных с помощью Pandas [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/articles/196980/> (Дата обращения: 09.09.2024).
- 8 **Местецкий, Л. М.** Математические методы распознавания образов [Текст] // МГУ, ВМиК, кафедра «Математические методы прогнозирования» – 2002. – 32 с.
- 9 Понятие класса, экземпляра класса и объекта в ООП. [Электронный ресурс]. – <https://webkysr.info/page/poniatie-klassa-ekzempliara-klassa-i-obekta-v-ooop> (Дата обращения: 09.09.2024).

10 Использование библиотеки gTTS [Электронный ресурс]. – <https://winfo.ru/docs/python/examples-python/sintez-rechi-ili-kak-preobrazovat-tekst-v-golos/#:~:text=gTTS%20%2D%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0%2C%20%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82,%D0%B2%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%85%2C%20%D0%B2%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B0%D1%8F%20MP3>. (Дата обращения: 09.09.2024).

11 Мэттиз, Э. Изучаем Python : программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. 3-е изд. [Текст] // СПб.: Питер – 2020. – С. 318–391.

REFERENCES

1 Russell, S., Norvig, P. *Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod*, 2-e izd. [Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd ed.] [Text]. – Izdatel'skiy dom «Viliams» – 2007. – P. 34.

2 Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. *Glubokoye obucheniye* [Deep Learning] [Text]. – Translated by A. A. Slinkin. – 2-e izd., ispr. – M. : DMK Press – 2018. – P. 32.

3 Muller, A., Guido, S. *Vvedeniye v mashinnoye obucheniye s pomoshch'yu Python. Rukovodstvo dlya spetsialistov po rabote s dannymi* [Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists] [Text]. – OOO «Al'fa-kniga» – 2017. – P. 14.

4 Каратса, Е. *Mashinnoye obucheniye dostupnym yazykom* [Machine Learning in Simple Language] [Text]. – «Avtor» – 2023. – P. 8.

5 *Chto takoye tokenizatsiya?* [What is Tokenization?] [Electronic Resource]. – <https://nft.ru/article/chto-takoe-tokenizatsiya-1011> (Accessed: 09.09.2024).

6 *Vvedeniye v biblioteku Transformers i platformu Hugging Face* [Introduction to the Transformers Library and Hugging Face Platform] [Electronic Resource]. – <https://habr.com/ru/articles/704592/> (Accessed: 09.09.2024).

7 *Vvedeniye v analiz dannykh s pomoshch'yu Pandas* [Introduction to Data Analysis with Pandas] [Electronic Resource]. – <https://habr.com/ru/articles/196980/> (Accessed: 09.09.2024).

8 Местетский, Л. М. *Matematicheskie metody raspoznaniya obrazov* [Mathematical Methods of Pattern Recognition] [Text]. – MGU, VMiK, kafedra «Matematicheskie metody prognozirovaniya» – 2002. – P. 32.

9 *Ponyatiye klassa, ekzempliyara klassa i obyekt v OOP* [Concept of Class, Class Instance, and Object in OOP] [Electronic Resource]. – <https://webkys.info/page/poniatie-klassa-ekzempliara-klassa-i-obyekta-v-oop> (Accessed: 09.09.2024).

10 *Ispol'zovaniye biblioteki gTTS* [Using the gTTS Library] [Electronic Resource]. – <https://winfo.ru/docs/python/examples-python/sintez-rechi-ili-kak-preobrazovat-tekst-v-golos/#:~:text=gTTS%20%2D%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0%2C%20%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82,%D0%B2%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%85%2C%20%D0%B2%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B0%D1%8F%20MP3>. (Accessed: 09.09.2024).

11 Metiz, E. *Izuchayem Python: programmiruyem igry, vizualizatsiya dannykh, veb-prilozheniya*. 3-e izd. [Learning Python: Game Programming, Data Visualization, Web Applications, 3rd ed.] [Text]. – SPb.: Piter – 2020. – P. 318–391.

Поступило в редакцию 12.09.24

Поступило с исправлениями 14.10.24

Принято в печать 04.12.24

*К. С. Бейсова¹, Л. А. Авдеев², Ш. З. Телбаева³,

С. В. Войткевич⁴, В. А. Иванов⁵

^{1,2,3,4,5}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды

техникалық университеті, Қарағанды қ.

12.09.24 ж. баспаға түсті.

14.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖАУАПТАРДЫ ҚҰРУ ЖӘНЕ ДАУЫСТАУ ҮШІН ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕРДІ ЖЕТІЛДІРУ

Бұл мақалада үлкен тілдік модельді (ағылш. large language model, бұдан әрі – LLM) университеттердегі дәрістерді оңдеуге және студенттер қойған сұрақтарға жауап алуға, сондай-ақ осы жауаптарды айтуға арналған. Осылайша, бұл зерттеудің мақсаты білім беруде LLM қолдану арқылы, атап айтқанда, білім беру процесін қолдау әдістерін автоматтандыруда туындайтын мүмкіндіктерді сипаттау болып табылады. Бұл зерттеу сонымен қатар деректерді

дайындау кезеңдерін, орнату кезінде білім беру ресурстарын оқытуды және қажет болған жағдайда модельді теңшеуді сипаттайды. Дәріс мәтіндерін өңдеуге және талдауға, студенттердің сұрақтарына жауап беру алгоритмдерін жасауға және оларды айтуға арналған мұндай тілдік модель осы зерттеудің негізгі элементі болып табылады. Мақалада қажетті бағдарламалық жасақтама компоненттерін қалай таңдауға және орнатуға болатындығы, модельді кейіннен оқыту үшін деректерді дайындау және өңдеу әдістемесі, сондай-ақ мәтінді сөйлеуге арналған технологияларды интеграциялау кезең-кезеңімен сипатталған. Осылайша, алынған нәтижелер білім беру процесінің сапасын айтарлықтай жақсартатын оқу материалдарын пайдалана отырып, сұрақтар мен жауаптарды түсінуге қатысты алдын ала оқыту моделінің тиімділігін көрсетеді. LLM жауаптарды генерациялау және дауыстау арқылы оқытудың интерактивтілігін арттыру арқылы студенттер мен оқытушыларды қолдаудың интеллектуалды жүйелерін әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: үлкен тілдік модельдер, деректерді талдау, жауаптар генерациясы, модельдерді орнату, модельдерді оқыту, оқу процесін автоматтандыру.

*K. S. Beisova¹, L. A. Avdeev², Sh. Z. Telbaeva³, S. V. Voitkevich⁴, V. A. Ivanov⁵
^{1,2,3,4,5}Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda

Received 12.09.24

Received in revised form 14.10.24

Accepted for publication 04.12.24

FINE-TUNING OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR GENERATING AND VOICING ANSWERS

This article examines the processes implemented during the completion of the large language model (English: large language model, hereinafter referred to as LLM) for processing lectures at universities and obtaining answers to questions posed by students, as well as for voicing these answers. Thus, the purpose of this study is to describe the opportunities that arise through the use of LLM in education and, in particular, in automating methods to support the educational process. This study also describes the stages of data preparation, additional training on educational resources during installation and, if necessary, model configuration. Such a language

model, designed for processing and analyzing lecture texts, developing algorithms for generating answers to students' questions and voicing them, is the main element of this study. The article describes step by step how to select and install the necessary software components, the methodology of data preparation and processing for subsequent training of the model, as well as the integration of text-to-speech technologies. Thus, the results obtained show the effectiveness of the pre-learning model in terms of understanding questions and answering them using educational materials, which can significantly improve the quality of the educational process. LLM can be used in the development of intelligent support systems for students and teachers by increasing the interactivity of learning through the generation and voicing of responses.

Keywords: large language models, data analysis, response generation, model installation, model completion, automation of the educational process.

<https://doi.org/10.48081/WANN8387>

***А. А. Бектасова¹, А. К. Ашимова², К. Б. Шакенов³**

^{1,2,3}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8888-8894>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9036-0508>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9722-1605>

*e-mail: Bektasova_aa@mail.ru

ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ОРНАТУЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ ӘДІСТЕРІ

Бұл мақалада жел турбиналарының тиімділігі мен қуатын арттырудың перспективалы әдістері ұсынылған. Бұл жалпы энергетикалық баланста жел энергиясының үлесінің артуы және электр энергиясын өндіру құнының төмендеуіне байланысты. Жел электр станцияларының қуатын арттыру жел ресурстарын тиімді пайдалану үшін, әсіресе желдің төмен және орташа жылдамдығында қажет. Жел электр станцияларының тиімділігін арттырудың перспективалы жолдарының бірі арнайы жел ұстағыштар мен ауа ағынын күшейткіштерді пайдалану болып табылады. Жұмыс принципі турбина арқылы өтетін желдің жылдамдығын арттыруға негізделген, бұл өз кезегінде энергия өндіруді арттырады. Жабық жел турбинасын жобалауды зерттеу COMSOL Multiphysics, ақырлы элементтерді есептеуді жүзеге асыратын инженерлік талдау бағдарламалық құралының көмегімен жүргізілді. COMSOL Multiphysics инженерлік талдау бағдарламалық жасақтамасының «Геометрия» интерфейсында құрастырылған толық масштабты үлгіге жақын, ауа ағынын күшейткіштің бір түрінің моделі құрастырылды. Желдің әсер етуіне инженерлік талдау жүргізілді және шығыс жылдамдықтарының нәтижелеріне сүйене отырып, ауа ағыны арнаның тарылмалы бөлігінен өткенде жылдамдайды деген қорытындыға келді. Мақалада конфузорлар, диффузорлар және басқа ауа ағыны күшейткіштері турбина арқылы өтетін желдің жылдамдығын арттыруға көмектеседі, осылайша өндірілетін электр энергиясының көлемін арттырады.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия, жел генераторы, концентратор, ауа ағынының күшейткіштері, конфузор.

Кіріспе

Дәстүрлі емес (жаңартылатын) энергия қазбалы энергия көздеріне тәуелділікті азайтуға және қоршаған ортаға теріс әсерді барынша азайтуға көмектесетін қазіргі әлемде шешуші рөл атқарады. Жаңартылатын энергия көздерінің ішінде жел энергиясы планетаның жел ресурстарының үлкен әлеуетіне байланысты жетекші орындардың бірін алады. Жел энергетикасын дамыту әсіресе климаттың өзгеруімен күресу және энергия өндірудің тұрақты әдістеріне көшу жағдайында маңызды. [1, 2-б.]

Жел энергетикасының негізгі міндеттерінің бірі жел электр станцияларының тиімділігі мен қуатын арттыру болып табылады, өйткені бұл жалпы энергетикалық баланста жел өндіру үлесін арттыруға және электр энергиясын өндірудің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Жел электр станцияларының қуатын арттыру жел ресурстарын тиімдірек пайдалану үшін, әсіресе желдің төмен және орташа жылдамдығы жағдайында қажет. Жел электр станцияларының тиімділігін арттырудың перспективалы әдістерінің бірі арнайы концентраторларды немесе ауа ағынын күшейткіштерді пайдалану болып табылады. [2, 10-14-б.]

Диффузорлар, конфузорлар немесе ауа концентраторлары – жел турбинасы қалақтарына соқтығысқанға дейін ауа ағынын бағыттайтын және күшейтетін құрылымдар. Жұмыс принципі турбина арқылы өтетін желдің жылдамдығын арттыруға негізделген, бұл өз кезегінде энергия өндіруді арттырады. Бұл құрылымдар тар бөліктерде ауаның үдеуін, яғни Вентури эффектісін жасайды. Мұндай концентраторлар әртүрлі формада болуы мүмкін.

Материалдар мен әдістері

Конвертердегі энергия тасымалдаушының энергияны пайдалану коэффициентін арттыру үшін жел турбинасы орналасқан аймақта ауа массасы ағынының жылдамдығын арттыруға мүмкіндік беретін жел электр станциясының ең жақсы жобасын табу үшін зерттеулер жүргізу қажет. Жел жылдамдығының шамалы өсуінің өзі үлкен энергетикалық эффект береді, өйткені желдің кинетикалық энергиясы оның үшінші дәрежеге дейінгі жылдамдығына байланысты [3, 279-284-б.]

Жабық жел турбинасын жобалауды зерттеу COMSOL Multiphysics инженерлік талдау бағдарламалық құралын қолдану арқылы жүргізілді, ол ақырлы элементтерді есептеуді жүзеге асырады. Ақырлы элементтер әдісі диффузия, жылу өткізгіштік және гидродинамика процестерін модельдеуде кеңінен қолданылады және компьютердің мүмкіндіктерінің артуына байланысты оның қолданылу аясы кеңейеді [4, 1-б.]

Әдетте, Эйлер есебі гидродинамикалық теңдеулерді шешу үшін қолданылады. Бұл жағдайда есептеу аймағына салынған тор шешімнің барлық кезеңдерінде тұрақты болып қалады. Бірақ бұл тәсілді қолданғанда ағынның конвективті құрамдастарын жақындатуда қиындықтар туындайды [5, 329-345-б.].

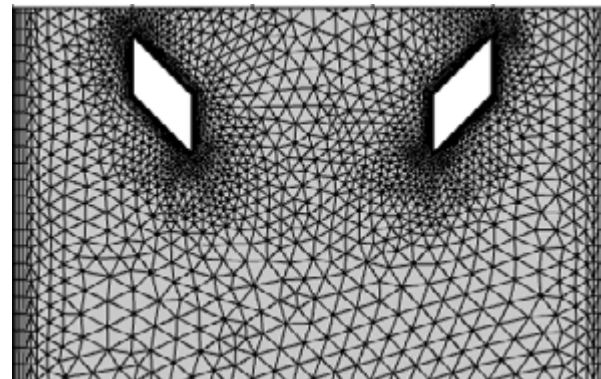
Бұл қиындықтар Лагранж сипаттаған ортаны пайдалану кезінде жойылады. Бұл тәсілдің идеясы тор түйіндері қоршаған ортамен бірге қозғалады, бұл оларды объектінің бөлшектері ретінде қарастыруға мүмкіндік береді, ал тордың өзі шешімнің әрбір қадамында пішінін өзгертеді немесе орнын өзгертеді. Ортаның Лагранж сипаттамасын қолданатын әдістердің бірі PFEM – бөлшектердің ақырлы элементтері әдісі [6, 655-671-б., 7, 964-989-б.]. Бұл әдіс COMSOL Multiphysics инженерлік талдау бағдарламалық құралында қолданылады [8, 2-б.].

Бөлшектері бар ақырлы элементтер әдісі күрделі аймақтардағы сұйық және газ ағындарын, бос беті бар сұйық және газ ағындарын, шашыраудың пайда болу процестерін модельдеу үшін, сонымен қатар гидравликалық серпімділіктің байланысты мәселелерін шешу үшін қолданылады. Бұл мәселелерді шешу үшін әр түрлі типтегі Лагранж әдістері барлық жерде және әбден қолайлы: гидравликалық серпімділіктің біріктірілген есептерінде – құйынды элементтер әдістері [9, 35-41-б.], бос беті бар ағындарды модельдеуде – SPH тегістелген бөлшектер әдісі қолданылады [10, 502-б.]. Әртүрлі есептерді шешуге қатысты торлы және бөлшектердің әдістерін қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктері егжей-тегжейлі қарастырылады [11, 4681-4696-б.].

Нәтижелер және талқылау

Табиғатта желдің жылдамдығы тұрақты емес және көп жағдайда төмен жылдамдықпен соғады, яғни оның жылдамдығы төмендеген сайын мұндай желдің ықтималдығы артады. Осыған байланысты желдің кинетикалық энергиясын оңтайлы түрлендіруге және оның электр энергиясын өндіре бастайтын жел жылдамдығының төменгі шегін азайту арқылы оның жұмыс ауқымын ұлғайтуға мүмкіндік беретін жел электр станцияларының энергия үнемдейтін жобалау элементтерін әзірлеу қажет.

Инженерлік талдау бағдарламалық жасақтамасының модельдеуіндегі жел турбинасын жобалау үлгісі толық масштабты модельге жақын болуы керек. Бұл үшін модель торларда жақын және конвергентті нәтижелерге ие болуы керек, гидродинамикалық есептеулерде қателерді болдырмау үшін тор элементтің маңызды аймақтарында жеткілікті жұқа болуы керек, жел турбинасы моделінің үстіндегі есептеу аймағы ауа ағыны тарылмайтындай жоғары болуы керек.



Сурет 1 – Жабық типтегі жел қондырғылары корпусының моделінің бір нұсқасының есептік торы

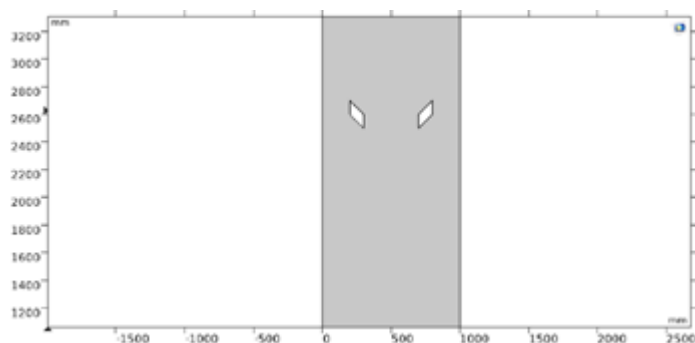
Жабық типтегі жел қондырғыларының жобалық үлгісі келесі элементтерден тұрады:

1 Құрылымның ортасында жел электр қондырғыларының корпусымен бір осьте орналасқан бағыттаушы конус (конфузор) желдің үдеуіне ықпал ететін ауа ағынын турбина қақтарының орналасу аймағына бағыттайды;

2 Жел қондырғыларының корпусы.

2-суретте жабық типті жел қондырғыларының корпусының алдында орналасқан шатастырушы моделінің көлденең қимасы көрсетілген. Құрылым айналу денесі болғандықтан, есептеулерді, есептеу операцияларын және құрылымның ең тиімді аймақтарын талдауды жеңілдету үшін модельдің көлденең қимасы алынды. Бұл модель COMSOL Multiphysics инженерлік талдау бағдарламалық құралының «Геометрия» интерфейсінде құрастырылған. Әрі қарай, зерттелетін модель элементтерінің материалы таңдалады, бұл жағдайда ағынды орта ретінде ауа таңдалады, ал конфузор, диффузор және конус жел электр станцияларын салу үшін темір таңдалады. Содан кейін шекаралық шарттар: кірістегі жылдамдық, шығыстағы қысым, зерттеу аймағының симметриялық қабырғалары қойылады. Бұл интерфейс әртүрлі формулалардағы Навье-Стокс теңдеулерін шешуге негізделген әртүрлі жылдамдықтағы сұйықтық ағынын модельдейді. Бұл бағдарлама интерфейсін төмен жылдамдықты ағындарды, сусымалы ағындарды, сұйық пен газдың ламинарлы және турбулентті ағындарын модельдеуге арналған. Турбулентті ағындарды сипаттау үшін Рейнольдс бойынша орташаланған Навье-Стокс теңдеулері пайдаланылады және стандартты және төмен Рейнольдс $k-\varepsilon$ үлгілері, $k-\omega$ және Менгер модельдері және Спаларт – Аллмарас моделі әртүрлі турбуленттілік үлгілерімен толықтырылады [8, 2-б.].

Навье-Стокс теңдеуі үшін Рейнольдс орташалау әдісі әр жағдайда өзгертін ағын сипаттамаларын (жылдамдық, қысым, тығыздық) орташа алынған және пульсирленген құрамдастардың қосындыларымен ауыстыруға негізделген. Рейнольдс теңдеуі сұйықтықтың немесе газдың уақыт бойынша орташа ағынын сипаттайды, бұл оларда белгілі бір формасы бар физикалық дене арқылы сұйықтық немесе газ ағыны өткен кезде пайда болатын турбулентті кернеулерді сипаттайтын жаңа белгісіз функциялардың пайда болуына мүмкіндік береді.



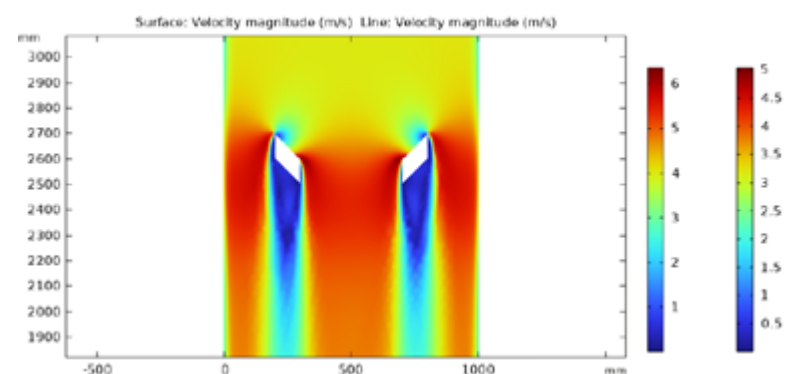
Сурет 2 – Жабық ел электр қондырғыларының корпусының алдында орнатылған конфузور моделінің көлденең қимасы

Есептеу үшін ортаның турбулентті ағынын сипаттайтын стандартты К-ε моделі таңдалды, мұнда ортаның қозғалыс теңдеуі орташа жылдамдықтың ауытқуы (турбулентті кинетикалық энергия түрінде) және тұтқырлыққа (диссипацияға) байланысты берілген ауытқуды азайту процесі әсер ететін түрге ауысады. Бұл модель турбуленттіліктің кинетикалық энергиясын беру және турбуленттіліктің диссипациясын беру үшін екі қажетті теңдеуді орындайды. Бұл тәсіл гидро және газ динамикасының практикалық инженерлік есептеулерін орындау кезінде жиі қолданылады.

Тор интерфейсында модельді әр элемент үшін калибрлеудің төрт түрінен бөлу әдісін таңдайсыз: «жалпы физика», «сұйықтық динамикасы», «плазма», «жартылай өткізгіш». Содан кейін қолданылатын тор өлшемі әртүрлі зерттеу аймақтары үшін алдын ала анықталады. Ағымдағы үлгі ортасының аймағы үшін калибрлеудің екінші түрі таңдалады, яғни. «сұйықтық динамикасы». Жабық типтегі жел қондырғысы моделінің бір нұсқасы үшін салынған тор 1-суретте көрсетілген.

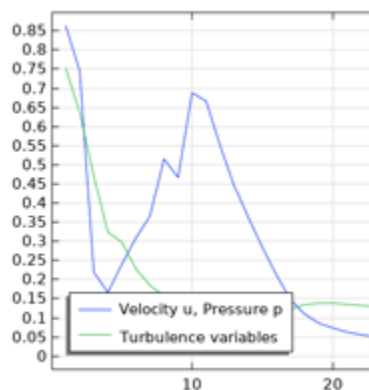
Жүргізілген есептеулердің нәтижелерін алынған нәтижелерге талдау жүргізу үшін қажетті параметрлер бойынша әртүрлі диаграммалар мен

графиктер түрінде алуға болады. 3-суретте конфузор арқылы өтетін жел жылдамдығының контурларының диаграммасы көрсетілген. Ол ағынның тарылуы жүретін турбинаның орналасу аймағында ағынның жылдамдығы максималды мәнге жететінін, осы аймақтың артында ағынның жылдамдығы төмендей бастайтынын көрсетеді. Ауа ағынының жылдамдығының шамалы төмендеуі жел қондырғылары корпусының сыртқы жиектерінде байқалады. Бұл жағдайда ағынның жылдамдығы бастапқы мәні 4 м/с болғанда 6,55 м/с жетеді.



Сурет 3 – Конфузор арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдық контурларының диаграммасы

Конфузордың орналасқан жеріндегі жылдамдық туралы мәліметтерді алу үшін ауа ағынының жылдамдығының графигі жасалады



Сурет 1 – Жабық үлгідегі жел электр қондырғыларының турбиналық қалақтары орналасқан жердегі ауа ағынының жылдамдығы

Ауа ағынының жылдамдығының кейбір мәндері үшін есептеулер жүргізілді (1-кесте). Шығу жылдамдықтарының нәтижелеріне сүйене отырып, ауа ағыны арнаның тарылмалы бөлігінен өткенде жылдамдайды деген қорытындыға келеміз. Бұл әсерді қолданатын концентраторлар (Вентури эффектісі) турбина роторының алдында орналасады, ауа ағынын тарылтады және турбина қалақтарына жеткенше оның жылдамдығын арттырады.

Кесте 1 – конфузور шығысындағы жылдамдықтардың мәндері

Конфузордың кірісіне берілетін жылдамдық мәні, м / с	Конфузор шығысындағы жылдамдықтың мәні, м / с
2	3,2
4	6,55
6	9,5
8	13
10	16
12	19
14	23
16	25,8
18	28

Қорытынды

Көлденең осьті жел турбиналарында әртүрлі типтегі ауа ағыны концентраторларын пайдалану жел турбиналарының өнімділігі мен тиімділігін арттыру үшін үлкен перспективалар береді. Конфузорлар, диффузорлар және басқа ауа ағынын күшейткіштер турбина арқылы өтетін желдің жылдамдығын арттыруға көмектеседі, осылайша өндірілетін электр қуатының мөлшерін арттырады. Кез келген жағдайда қолайлы жел коллекторын таңдау жұмыс жағдайларына, желдің жылдамдығы мен бағытына, сондай-ақ рельефке байланысты.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕРДІҢ ТІЗІМІ

1 Ветряные электростанции [Текст]. [Электронды ресурс]. – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostantsii/2019-08-27-1737

2 Бубенчиков, А. А., Горлинский, Н. А., Щербинов, В. В. Концентраторы потоков для ветроэнергетических установок / – [Текст] : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 (132.2). – С. 10–14. – <https://moluch.ru/archive/132/36987/>

3 Munsyzbai, T.M. Mathematical model of windmill. [Текст] Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. November 25-27, 2008/ Tashkent, Uzbekistan. 279–284 .

4 Метод конечных элементов. [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_конечных_элементов

5 Давыдова, Е. В., Корчагова, В. Н., Марчевский, И. К. Использование метода конечных элементов с частицами для решения задач гидродинамики. [Текст] Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 6. С. 329-345.

6 Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F. A Lagrangian meshless finite element method applied to fluid-structure interaction problems [Текст] // Computer and Structures. 2003. Vol. 81, no. 8–11. P. 655–671. DOI: 10.1016/S0045-7949(02)00477-7

7 Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin, F. The particle finite element method: a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves [Текст] // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2004. Vol. 61, no. 7. P. 964-989. DOI: 10.1002/nme.1096

8 Моделирование течений жидкостей и газов с помощью модуля «Вычислительная гидродинамика». [Электронный ресурс]. – https://youtu.be/Wo1cEABO2vs?si=Vtd4wVIET5tuRle_

9 **Ермаков, А. В., Щеглов, Г. А.** Моделирование методом вихревых элементов динамики цилиндрической оболочки в пространственном потоке жидкости [Текст] // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2014. № 3. С. 35-41.

10 Li Shaofan, Kam Wing Liu. Meshfree Particle Methods. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 502 p. DOI: 10.1007/978-3-540-71471-2

11 Idelsohn, S.R., Onate, E. To mesh or not to mesh. That is the question... [Текст] // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2006. Vol. 195, iss. 37-40. P. 4681-4696. DOI:10.1016/j.cma.2005.11.006

REFERENCES

1 Vetryanye elektrostantsii [Wind farms] [Текст]. [Electronic resource]. – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostantsii/2019-08-27-1737

2 **Bubenchikov, A. A., Gorlinskii, N. A., Щербинов, V. V.** Kонтсентраторы потоков для ветроэнергетических установок [Flow concentrators for wind turbines] – [Текст] : neposredstvennyi // Molodoi uchenyi. – 2016. – № 28.2 (132.2). – P. 10–14. [Electronic resource]. – <https://moluch.ru/archive/132/36987/>

3 **Munsyrbai, T. M.** Mathematical model of windmill. [Текст] Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. November 25–27, 2008/ Tashkent, Uzbekistan. 279–284 .

4 Metod konechnyh elementov. [Finite element method] [Electronic resource]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod_konechnyh_elementov

5 **Davydova, E. V., Korchagova, V. N., Marchevskii, I. K.** Ispolzovanie metoda konechnyh elementov chastsitsami dlya resheniya zadach gidrodinamiki. [Using the finite element method with particles to solve hydrodynamic problems] [Текст] Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana. Elektron. jurn. 2015. № 6. S. 329–345.

6 **Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin F.** A Lagrangian meshless finite element method applied to fluid-structure interaction problems [Текст] // Computer and Structures. 2003. Vol. 81, No. 8–11. P. 655–671. DOI: 10.1016/S0045-7949(02)00477-7

7 **Idelsohn, S. R., Onate, E., Del Pin F.** The particle finite element method: a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves [Текст] // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2004. Vol. 61, no. 7. P. 964-989. DOI: 10.1002/nme.1096

8 Modelirovanie techenii jidkosti i gazov s pomoshchyu modulya «Vychislitelnaya gidrodinamika». [Modeling liquid and gas flows using the Computational Fluid Dynamics module] [Electronic resource]. – https://youtu.be/Wo1cEABO2vs?si=Vtd4wVIET5tuRle_

9 **Ermakov, A.V., Щеглов, G.A.** Modelirovanie metodom vihrevykh elementov dinamiki tsilindricheskoi obolochki v prostranstvennom potoke jidkosti [Modeling of the dynamics of a cylindrical shell in a spatial fluid flow using the vortex element method] [Текст] // Izvestiya VUZov. Maşınostroenie. 2014. № 3. С. 35–41.

10 Li Shaofan, Kam Wing Liu. Meshfree Particle Methods. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 502 P. DOI: 10.1007/978-3-540-71471-2

11 Idelsohn, S.R., Onate E. To mesh or not to mesh. That is the question... [Текст] // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2006. Vol. 195, iss. 37–40. P. 4681–4696. DOI:10.1016/j.cma.2005.11.006

14.10.24 ж. баспаға түсті.

22.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**А. А. Бектасова¹, А. К. Ашимова², К. Б. Шакенов³*

^{1,2,3}Satbayev University, Республика Казахстанг. Алматы

Поступило в редакцию 14.10.24

Поступило с исправлениями 22.10.24

Принято в печать 04.12.24

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В данной статье представлены перспективные способы повышения эффективности и мощности ветроэлектростанций. Это связано с тем, что ветроэнергетика может увеличить свою долю в общем энергетическом балансе и снизить стоимость производства электроэнергии. Увеличение мощности ветряных турбин необходимо для более эффективного использования ветровых ресурсов, особенно в условиях низкой или средней скорости ветра. Перспективным способом повышения эффективности ветропарков является использование специальных ветроуловителей и усилителей воздушного потока. Принцип действия основан на увеличении скорости ветра, проходящего через турбину, и, соответственно, увеличении выработки энергии. Проектирование закрытой ветротурбины было выполнено в программном интерфейсе инженерного анализа COMSOL Multiphysics «Геометрия», выполняющем конечно-элементные расчеты, построена модель конфузора – своеобразного усилителя воздушного потока, приближенного к натурной модели. Был проведен инженерный анализ

ветрового воздействия, и по результатам скорости на выходе был сделан вывод, что воздушный поток ускоряется при прохождении через сужение на пути потока. В статье говорится, что конфузоры, диффузоры и другие усилители воздушного потока могут помочь увеличить скорость ветра через турбину и тем самым повысить выработку электроэнергии.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветрогенераторы, концентраторы, усилители воздушного потока, конфузоры

*A. Bektassova¹, A. Ashimova², K. Shakenov³

^{1,2,3}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 14.10.24

Received in revised form 22.10.24

Accepted for publication 04.12.24

PROMISING METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF WIND ENERGY PLANTS

This article presents promising methods for increasing the efficiency and capacity of wind turbines. as this allows increasing the share of wind generation in the overall energy balance and reducing the cost of electricity production. Increasing the capacity of wind turbines is necessary for more efficient use of wind resources, especially in conditions of low and medium wind speeds. One of the promising methods for increasing the efficiency of wind turbines is the use of special concentrators or air flow amplifiers. The operating principle is based on increasing the speed of wind passing through the turbine, which, in turn, increases energy production. The study of the closed-type wind turbine design was carried out in the COMSOL Multiphysics engineering analysis software, which performs calculations using the finite element method. A model of one of the types of air flow amplifiers - confuser, close to the full-scale model, built in the Geometry interface of the COMSOL Multiphysics engineering analysis software. An engineering analysis of the wind effect was carried out and, based on the results of the output speeds, we conclude that the air flow accelerates when passing through the narrowing part of the channel. The article notes that confusers, diffusers and other air flow amplifiers help increase the speed of wind passing through the turbine, thereby increasing the volume of electricity generated.

Keywords: renewable energy, wind turbines, concentrators, air flow amplifiers, confusers

МРНТИ 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/MJZI9223>

**А. А. Генбач¹, Д. Ю. *Бондарцев², Н. А. Генбач³,
Е. А. Генбач⁴**

^{1,2,3,4}Алматынський Университет Енергетики и Связи

имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3819-4387>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8778-7851>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9876-2736>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0344-278X>

*e-mail: d.bondartsev@aues.kz

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ С ПОКРЫТИЯМИ ИЗ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведены исследования предельных тепловых нагрузок для систем охлаждения с покрытиями из природных материалов. Определены принципы конструирования камер сгорания, сопел и условия напыления материала на поверхность нагрева. Исследования имеют практическое значение в области предельного состояния парогенерирующей поверхности, защищаемой охлаждением от пережога. Разработаны системы охлаждения с пористыми покрытиями, которые позволяют исключить развитие трещин в покрытиях камер и сопел за счет термодинамического и акустического экранов из трех тепловых источников, и устройства для проведения напыления покрытий детонационными высокотемпературными факелами, истекающими из камер сгорания и сопел, охлаждаемых капиллярно-пористыми покрытиями. В исследованиях применялся метод голографии и скоростной киноплёнки. Измерялись тепловые потоки, температуры, расходы, давления потоков жидкости и газа. Установлены термодинамические характеристики кислородно-керосиновых горелок для генерации ими сверхзвуковых высокотемпературных детонационных факелов при напылении покрытий из порошков природных материалов, получен гранулометрический состав материалов, подобраны гидродинамические режимы работы горелок в диапазоне удельных тепловых потоков (2·106÷2·107) Вт/м² от факела струи в покрытие.

Коэффициент избытка окислителя варьировался в пределах $0,3 \div 0,8$; температура факела струи ($3000 \div 850$) 0С; длина струи ($0 \div 0,16$) м; радиус струи ($3 \div 10$) · 10-3 м; угол оси горелки к покрытию ($90 \div 0$) град.

Ключевые слова: природные материалы, покрытия, камера сгорания, сопло, горелка (термоинструмент), голография.

Введение.

Изучался механизм процесса теплообмена в капиллярно-пористых структурах с помощью внутренних (термогидравлических) характеристик парообразования [1;2;3;4;5]. Применялись скоростная киносъёмка и импульсная голография. Получены простые инженерные формулы расчета критических тепловых нагрузок и предельных возможностей тепломассопереноса в структурах. Однако теплозащитные свойства покрытий из природных материалов (горных пород) в виде порошков, напыляемых реактивными горелками, не исследовались.

Более подробные исследования теплообмена в капиллярно-пористых структурах, приводятся в литературе, имеющейся в работе [4; 6]. Сетчатая пористая структура [7] позволила вдвое расширить теплопередающие возможности системы охлаждения за счет интенсификации теплообмена диспергированными каплями жидкости, причем многофазный поток перемещался в волнистом канале, стенки которого покрывались структурами. Однако пористое покрытие не применялось.

В работах [7; 8] нами использовалось покрытие, напыленное на теплообменную поверхность ракетной горелкой в виде гранитного порошка. Решение задачи термоупругости выявило зависимости нестационарных тепловых потоков и термических напряжений сжатия и растяжения от толщины покрытия (или глубины проникновения температурной волны). Скоростная киносъёмка позволила экспериментально подтвердить теорию за счет измерения отрывающихся частиц от поверхности покрытия.

Материалы и методы.

Рассмотрим процесс взаимодействия сверхзвукового потока, генерируемого термоинструментом, с препятствием в зоне замедления потока. Расположение струи к поверхности покрытия – ортогональное.

В процессе взаимодействия сверхзвуковой струи с препятствием наблюдается совокупное воздействие высокоинтенсивной турбулентности [9]. Сверхзвуковая струя относится к типу импактных, влияет и воздействует на механизм теплопередачи на пятне торможения покрытия. Она увеличивает турбулентность (пульсации), а в случае кипящей системы охлаждения разрушает паровые конгломераты.

Запишем для «стандартных условий» уравнение теплопередачи в ламинарном пограничном слое при продольном обтекании пластины:

$$Nu_x = K_1 \sqrt{Re_x} \sqrt[3]{Pr}, \quad (1)$$

где $Re_x = W_\infty \cdot \frac{x}{\nu}$, $W_\infty = W_0$. Локальная теплопередача при продольном обтекании пластины в турбулентном пограничном слое [10]:

$$Nu_x = K_2 \cdot Re_x^{0.8} \cdot Pr^{0.43},$$

где $T_{cr} = const$; $10^5 < Re_x < \dots$

В формуле (1) $K_1 = 0,323$; в формуле (2) $K_2 = 0,0296$.

Теплофизические свойства газа принимаются при средней температуре между T_∞ и T_{cr} ; чаще в моделях за определяющую температуру выбирается температура невозмущенного потока T_∞ , либо T_{cr} ;

$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ – критерий Прандтля;

Nu_x – число Нуссельта;

$$Nu_x = \alpha_x \cdot \frac{x}{\lambda}. \quad (1)$$

Перепишем число и критерий в более удобной форме для анализа.

Критерий Рейнольдса:

$$Re_x = \frac{\rho_0 \cdot W_0 \cdot x}{\mu_x}.$$

Число Нуссельта:

$$Nu_x = \frac{q(x) \cdot x}{\lambda_x \cdot (T_{a_{cr}} - T_{cr})}, \quad (2)$$

Рассчитаем температуру :

$$Nu_x = \frac{q(x) \cdot x}{\lambda_x \cdot (T_{a_{cr}} - T_{cr})}, \quad (3)$$

$$T_{r_\infty} = T'_\infty + r \cdot \frac{W_\infty^2}{2Cp_\infty}, \text{ К}; \quad (4)$$

Для :

$$T_{0\infty} = T_{\infty} + r \cdot \frac{w_{\infty}^2}{2Cp_{\infty}}, \text{ К}, \quad (5)$$

При $Pr < 1, Ta_{ст} < T_{0\infty}$.

Коэффициент восстановления:

$$r = \frac{Ta_{ст} - T_{\infty}}{T_{0\infty} - T_{\infty}}. \quad (6)$$

Для ламинарных слоев:

$$r = \sqrt{Pr}. \quad (7)$$

Термодинамическая температура равна:

$$T'_{\infty} = \frac{a_{\infty}^2}{K \cdot R}, \text{ К}. \quad (8)$$

Температура торможения:

$$T_{0\infty} = T_{\infty} \cdot \left[1 + \frac{(K-1)}{2} \cdot M_{\infty}^2 \right], \text{ К}. \quad (9)$$

Температура восстановления равна:

$$T_{r\infty} = T_{\infty} \cdot \left[1 + r \cdot \frac{(K-1)}{2} \cdot M_{\infty}^2 \right], \text{ К}, \quad (10)$$

где $K = \frac{Cp}{C\vartheta}$.

Безразмерная длина струи $\bar{z} = \frac{z}{r_a}$, где z – абсцисса струи (от среза сопла до преграды); r_a – радиус струи на срезе сопла. За максимальное значение коэффициента теплоотдачи от струи к покрытию для одного из режимов примем $\alpha_1 = 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Текущим значением является коэффициент теплоотдачи конвекций α от пограничного слоя газа в пятне растекания струи к поверхности покрытия. Тогда имеем следующие значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость от α/α_1 от \bar{z} .

α/α_1	0.8	1	0.7	0.4	0.3
	0	10ч30	40	50	60

Для $Pk.c. = 1 \text{ МПа}$, $z = (0 \div 0,16) \text{ м}$, $T = (3000 \div 850) \text{ ОС}$, $T^*_{ст} = 3000 \text{ }^\circ\text{С}$ – температура торможения (на покрытии), $t_p = 300 \text{ ОС}$ – температура в конце свободной струи, $r_a = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $r_c = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (радиус струи).

Из таблицы 1 следует, что по длине участка «бочек» струи теплообмен уменьшается, поскольку пограничный слой газа неустойчивый, происходит частичный отрыв его от поверхности нагрева в результате резкого колебания давления в потоке за волной при встрече струи с покрытием этим участком. Уменьшается скорость и температура газа по длине z .

Результаты и обсуждение.

Тепловой поток омываемого высокоскоростным потоком газа, определяется как:

$$q_{ст} = \alpha \cdot (Ta_{ст} - T_{ст}), \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (11)$$

Если $Pr \neq 1$ то (12)

$$Ta_{ст} = T_{r\infty},$$

$$\text{и } q_{ст} = \alpha \cdot (T_{r\infty} - T_{ст}), \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Если $Pr = 1$, то (13)

$$Ta_{ст} = T_{0\infty}$$

$$\text{и } q_{ст} = \alpha \cdot (T_{0\infty} - T_{ст}), \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Для детонационного сверхзвукового факела эксперименты нами проводились с применением микронасадки для измерения полного и статического давлений и датчика теплового потока для измерения $q(x)$ αx , Mx и $p_0 W_0$ в растекающейся струе.

Числа Маха $M = \frac{w_a}{a} = 2.3$.

Однако число Nu_x согласно эксперименту в $(5 \div 6)$ раз выше, чем дает ламинарная теория (формула (1)). Возможно, проявляется детонационный

эффект проникновения в ламинарный пограничный слой турбулентных пульсаций из внешнего течения.

При $Re_x \geq 4 \cdot 10^5$ точки располагаются ниже линии согласно формуле (2), т.е. закона турбулентного теплообмена для дозвуковых течений.

Таким образом, для «стандартных условий» теплообмена $K_1 = 0,323$ и $K_2 = 0,0296$. В случае детонационной сверхзвуковой волны, имеем для $Re_x < 4 \cdot 10^5$, $K'_1 = (5 + 6) \cdot K_1$ и для $10^6 \geq Re_x \geq 4 \cdot 10^5$, $K'_2 = 0,95 \cdot K_2$.

Число рассчитывалось по параметрам газа на срезе сопла (индекс «а»):

$$Re_a = \frac{w_a \cdot d_a}{\nu_a},$$

где $Re = 1 \cdot 10^6$; $\bar{l} = \frac{l}{d_a} = 3$.

Степень нерасчетности истечения (см. рис. 1) $Re = 1 \cdot 10^6$; $\bar{l} = \frac{l}{d_a} = 3$.

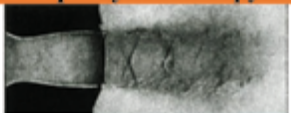



Отношение давлений	Структура сверхзвуковой струи
$\frac{P_e}{P_b} = 0.4$	
$\frac{P_e}{P_b} = 0.6$	
$\frac{P_e}{P_b} = 0.8$	
$\frac{P_e}{P_b} = 1.5$	

Рисунок 1 – Процесс истечения сверхзвуковой струи из сопла термоинструмента при различных давлениях

В окрестностях критической точки (на покрытии) предполагается ламинарный режим течения, так как число не высокое и действует отрицательный градиент давления.

Выводы

Предложенные системы охлаждения демонстрируют высокую эффективность в защите устройств и покрытий от разрушительного воздействия детонационных высокотемпературных струй. Капиллярно-пористые конструкции охлаждения горелок обеспечивают надежную работу даже при экстремальных тепловых потоках ($2 \cdot 10^6$ Вт/м²), что подтверждается результатами измерений и оптических наблюдений.

Применение наноразмерных покрытий из природных минеральных сред позволяет увеличить критические тепловые нагрузки ($2 \cdot 10^6 \div 2 \cdot 10^7$) Вт/м² и повысить устойчивость покрытий. Эти решения особенно важны при модернизации промышленных объектов, где значительное сокращение расхода охладителя, что способствует повышению экологичности процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Shoukat, A. K., Nurettin, S., Muammer, K. Design, fabrication and nucleate pool-boiling heat transfer performance of hybrid micro-nano scale 2-D modulated porous surfaces. Applied Thermal Engineering. – Volume 153, 5 May 2019, P. 168–180. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.02.133>

2 Gang, L., Weirong, L., Qingzhi, W. The convective heat transfer of fractal porous media under stress condition. International Journal of Thermal Sciences. – Volume 137, March 2019, P. 55–63. – <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.11.017>

3 Chuang, T. J., Chang, Y. H., Ferng, Y. M. Investigating effects of heating orientations on nucleate boiling heat transfer, bubble dynamics, and wall heat flux partition boiling model for pool boiling. Applied Thermal Engineering. – Volume 163, 25 December 2019, 114358. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114358>

4 Kimihide, O., Hosei, N. Investigation on liquid-vapor interface behavior in capillary evaporator for high heat flux loop heat pipe. International Journal of Thermal Sciences. – Volume 140, June 2019, P. 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.03.008>

5 Riadh, B., Vincent, P. Dynamic model of capillary pumped loop with unsaturated porous wick for terrestrial application. Energy. – Volume 111, 15 September 2016, P. 402–413. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.102>

7 **Seong, W. M., et at.** A novel coolant cooling method for enhancing the performance of the gas turbine combined cycle. *Energy*. – Volume 160, 1 October 2018, P. 625-634. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.035>

8 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Beloev, H. I., Genbach, N. A.** Boiling crisis in porous structures. *Energy*: 2022, 259, 125076. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125076>

9 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Iliev, I. K., Georgiev, A.G.** Scientific method of creation of ecologically clean capillary-porous systems of cooling of power equipment elements of power plants on the example of gas turbines. *Energy*: 2020, 199, 117458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117458>

10 **Xing, Y., et at.** Turbine platform phantom cooling from airfoil film coolant, with purge flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Volume 140, September 2019, P. 25–40. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.109>

11 **Jiin-Yuh, J.** A study of 3-D numerical simulation and comparison with experimental results on turbulent flow of venting flue gas using thermoelectric generator modules and plate fin heat sink. *Energy*. Volume 53, 1 May 2013, P. 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.010>

Поступило в редакцию 04.08.24

Поступило с исправлениями 11.10.24

Принято в печать 04.12.24

A. A. Genbach¹, D.Yu. Bondartsev^{2}, N. A. Genbach³, E. A. Genbach⁴,*
^{1,2,3,4}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 04.08.24

Received in revised form 11.10.24

Accepted for publication 04.12.24

COOLING SYSTEM WITH NATURAL MATERIALS COATINGS

Studies on the maximum heating loads for cooling systems with natural materials coatings have been carried out. The conditions for spraying the material onto the heating surface, as well as the design principles for nozzles and combustion chambers, have been established. In the area of the steam generating surface limiting state, shielded from burnout by cooling, these investigations are practically significant. Cooling systems with porous coatings have been developed, which make it possible to exclude the fractures development in the chambers and nozzles coatings due to thermodynamic and acoustic screens from three heating sources,

and devices for spraying coatings with detonation high-temperature flares emanating from nozzles and combustion chambers that are cooled by capillary-porous coatings. High-speed film and the holography technology were used during the investigation. Heat streams, temperatures, flow rates, and pressures of liquid and gas flows were measured. Thermodynamic characteristics of oxygen-kerosene burners for the generation of supersonic high-temperature detonation flares by spraying coatings from powders of natural materials are established, the granulometric composition of materials is obtained, hydrodynamic modes of operation of burners in the range of specific heat fluxes are selected ($2 \cdot 10^6 \div 2 \cdot 10^7$) W/m² from the jet torch into the coating. The oxidizer excess rate varied between 0,3÷0,8; the jet torch temperature was (3000÷850) °C; the jet length was (0÷0,16) m; the jet radius was ($3 \div 10$) ·10⁻³ m; the burner axis angle to the coating was (90÷0) deg.

Keywords: natural materials, coatings, combustion chamber, nozzle, burner (heating tool), holography

*A. A. Genbach^{*1}, Д. Ю. Бондарцев², Н. А. Генбач³, Е. А. Генбач⁴*

^{1,2,3,4}Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс
Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

04.08.24 ж. баспаға түсті.

11.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТАБИҒИ МАТЕРИАЛДАРДАН ЖАСАЛҒАН ЖАБЫНЫ БАР САЛҚЫНДАТУ ЖҮЙЕСІ

Табиғи материалдардан жасалған жабындармен салқындату жүйелері үшін шекті жылу жүктемелеріне зерттеулер жүргізілді. Жану камераларын, шүмектерді құрастыру қағидаттары және материалдың қыздыру бетіне тозаңдану шарттары айқындалған. Зерттеулер күйіп кетуден салқындатумен қорғалатын бу өндіретін беттің шекті жай-күйі саласында практикалық мәнге ие. Үш жылу көзінен тұратын термодинамикалық және акустикалық экрандар есебінен камералар мен шүмектер жабындарындағы жарықтардың дамуын болдырмауға мүмкіндік беретін кеуекті жабындысы бар салқындату жүйелері және капиллярлы-кеуекті салқындатылатын жану камералары мен шүмектерден ағатын детонациялық жоғары температуралы алаулармен жабындарды тозаңдандыруды

жүргізуге арналған құрылғылар әзірленді жабындармен. Зерттеулерде голография және жылдамдық кинопенкасы әдісі қолданылды. Жылу ағындары, температура, шығыстар, сұйықтық және газ ағындарының қысымы өшенді. Оттегі-керосин жанарғыларының термодинамикалық сипаттамалары табиғи материалдардың ұнтақтарынан жабындарды тозаңдату кезінде олардың дыбыстан жоғары жоғары температуралы детонациялық алау шығаруы үшін белгіленді, материалдардың гранулометриялық құрамы алынды, меншікті жылу ағындарының диапазонында ($2 \cdot 106 \div 2 \cdot 107$) Вт жанарғылар жұмысының гидродинамикалық режимдері таңдалды/ m^2 ағыс алауынан жабуға. Артық тотықтырғыш коэффициенті $0,3 \div 0,8$ шегінде өзгерді; реактивті факелдің температурасы ($3000 \div 850$) $^{\circ}C$; ағынның ұзындығы ($0 \div 0,16$) м; ағынның радиусы ($3 \div 10$) $\cdot 10^{-3}$ м; оттық осінің жабынға бұрышы ($90 \div 0$) град.

Кілтті сөздер: эксперименттік қондырғылар, көрсету, фотокамера, лазер, энергия жабдығы

МРНТИ 519.85

<https://doi.org/10.48081/NNSC6112>

***Р. М. Дюсова¹, Г. Ж. Сейтенова², А. С. Расмухаметова³**

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

³Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1376-6112>

*e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСОСОВ И КОМПРЕССОРОВ НА НПЗ ЧЕРЕЗ АВТОМАТИЗАЦИЮ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В КАЗАХСТАНЕ

В статье проводится всесторонний анализ современных систем автоматизации и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров, широко применяемых на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Авторы рассматривают основные подходы к внедрению технологий управления, основанных на системах SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и DCS (Distributed Control System), которые обеспечивают оптимизацию работы оборудования в реальном времени. Особое внимание уделяется математическому моделированию, которое позволяет не только улучшить рабочие режимы насосов и компрессоров, но и предсказать возможные неисправности.

Приведены результаты внедрения предиктивного обслуживания, направленного на прогнозирование износа оборудования, что помогает минимизировать незапланированные простои и снизить затраты на ремонтные работы. В статье проведен сравнительный анализ использования данных решений в Казахстане и за рубежом, что позволяет оценить перспективы внедрения передовых международных практик на казахстанских НПЗ. Отдельное внимание уделено повышению энергетической эффективности оборудования, увеличению его производительности и снижению затрат на

техническое обслуживание. Данный материал может служить полезным ресурсом для инженеров, исследователей и управленцев, работающих в нефтегазовой отрасли, заинтересованных в повышении эффективности и надежности работы производственного оборудования.

Ключевые слова: автоматизация, математическое моделирование, насосы, компрессоры, нефтеперерабатывающий завод, SCADA, DCS, цифровые двойники

Введение

Автоматизация технологических процессов на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) является одним из ключевых факторов повышения их производительности и устойчивости. Насосы и компрессоры, используемые для перекачки нефти и газов, занимают центральное место в инфраструктуре НПЗ, и их надежная и эффективная работа напрямую влияет на эффективность производственных процессов. Однако традиционные методы эксплуатации часто не позволяют своевременно выявлять износ и предотвратить аварийные остановки оборудования, что ведет к значительным простоям и экономическим потерям. В связи с этим вопрос автоматизации управления и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров становится все более актуальным как на международной арене, так и в Казахстане.

Актуальность исследования заключается в необходимости повышения надежности и производительности насосного и компрессорного оборудования на НПЗ через внедрение современных систем автоматизации и математического моделирования. В мировой практике активно развиваются решения на базе цифровых двойников и предиктивного обслуживания, которые уже доказали свою эффективность в снижении затрат и увеличении срока службы оборудования. В Казахстане данные технологии начинают внедряться, что требует научного анализа их эффективности и перспектив дальнейшего развития.

Целью настоящей статьи является анализ эффективности применения систем автоматизации и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров на нефтеперерабатывающих заводах, а также выявление наиболее перспективных направлений для их внедрения на казахстанских НПЗ. Кроме того, проводится сравнительный анализ мировых и казахстанских решений в области автоматизации и моделирования, что позволяет оценить возможности адаптации международного опыта в отечественной промышленности.

Новизна исследования заключается в проведении комплексного анализа применения систем предиктивного обслуживания и математического моделирования на НПЗ с акцентом на насосы и компрессоры, а также в оценке

их влияния на производственные и экономические показатели предприятий. В отличие от большинства работ, фокусирующихся на отдельных аспектах автоматизации, данное исследование рассматривает широкий спектр решений, включая цифровые двойники, системы SCADA и методы анализа больших данных, что позволяет создать целостную картину перспектив автоматизации нефтеперерабатывающей отрасли в Казахстане [1-5].

Материалы и методы

Объектами исследования являются насосы и компрессоры, используемые на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Данное оборудование выполняет критические функции от процессов добычи до технологических операций, таких как перекачка и сжатие.

В рамках исследования рассмотрены следующие системы:

SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition), обеспечивающие сбор и анализ данных в реальном времени, а также дистанционное управление процессами;

DCS-системы (Distributed Control System), используемые для централизованного управления работой нескольких агрегатов с возможностью автоматического регулирования рабочих параметров;

программируемые логические контроллеры (PLC), которые выполняют функции автоматического контроля и управления насосами и компрессорами, используя данные с различных сенсоров (температура, давление, расход);

системы предиктивного обслуживания, основанные на применении методов машинного обучения и больших данных (Big Data), обеспечивающие прогнозирование износа и потенциальных отказов оборудования [6, с. 3] [7, с. 26].

Математическое моделирование насосов и компрессоров является ключевым инструментом для анализа и оптимизации их работы. В исследовании использовались следующие подходы и методы:

- CFD (Computational Fluid Dynamics) – методы численного моделирования гидродинамических процессов, позволяющие исследовать распределение потоков жидкости и газа внутри насосов и компрессоров. CFD-моделирование применялось для оценки характеристик потока, давления и скорости с целью повышения эффективности работы оборудования;

- моделирование динамики газовых потоков в компрессорах, направленное на анализ и оптимизацию режимов работы, выявление зон риска (кавитация, перегрев) и минимизацию энергетических потерь;

- модели износа и предсказания отказов, основанные на данных эксплуатации и вибродиагностики, использовались для прогнозирования сроков службы деталей и компонентов оборудования. Применялись инструменты машинного обучения для обработки данных и построения предсказательных моделей.

Для анализа работы насосов и компрессоров применялись следующие методы:

статистический анализ эксплуатационных данных, собранных через SCADA-системы. Для обработки и анализа данных использовались методы корреляционного анализа и регрессионные модели, что позволило выявить зависимости между параметрами работы оборудования и его производительностью;

анализ вибрационных характеристик, осуществляемый с помощью специализированных датчиков и программного обеспечения для оценки состояния механических элементов. Вибродиагностика использовалась для определения возможных дефектов и прогнозирования износа;

тепловой анализ, проводимый с помощью инфракрасных камер и температурных сенсоров для оценки температурных режимов работы насосов и компрессоров. Тепловой анализ позволил выявить зоны потенциального перегрева и отклонения от нормальных условий эксплуатации.

Результаты и обсуждение

Ранее авторами были проведены исследования реакторов и проведено обоснование выбора гидродинамических режимов для построения математических моделей процессов нефтепереработки [9].

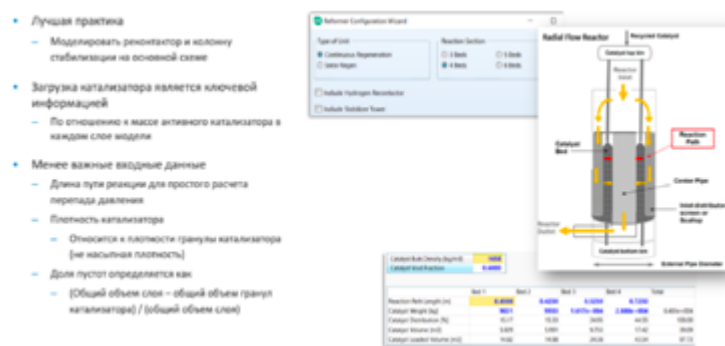


Рисунок 1 – Конфигурация реактора

В Казахстане, как и в мировой практике, насосы и компрессоры составляют значительную часть оборудования на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). В среднем, на казахстанских НПЗ насосы и компрессоры могут занимать от 30 до 40% всего технологического оборудования.

В настоящее время авторами проводится моделирование потоковой схемы с учетом характеристик насосов и компрессоров. В зависимости от мощностей установки определяются необходимые насосы и компрессоры.

Ключевыми критериями оценки эффективности внедрения автоматизации выступали следующие показатели:

- снижение простоев оборудования;
- повышение производительности насосов и компрессоров;
- экономия энергии.



Рисунок 1 – Показатели простоя оборудования до и после внедрения автоматизации

Как видно на рис.1 простой оборудования уменьшился со 120 ч/год до 78 ч/год, что составляет порядка 35%.

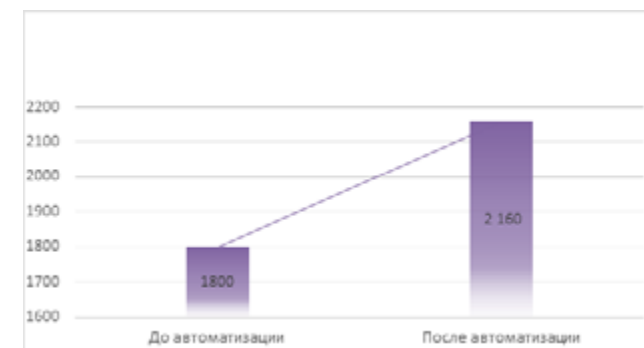


Рисунок 2 – Показатель производительности машин (насосы, компрессоры)

Увеличен показатель производительности насосов и компрессоров с 1800 м³/сут до 2 160 м³/сут.

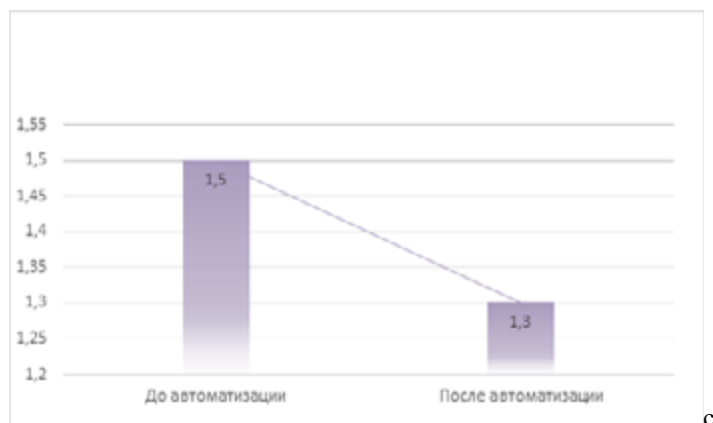


Рисунок 3 – Показатель экономии энергии, МВт-ч

Снижение энергопотребления привело к экономии денежных средств. Благодаря внедрению предиктивного обслуживания снижены расходы на обслуживание насосов и компрессоров на 20-25 %. Это объясняется уменьшением числа аварий и предотвращением критических поломок.

На нефтеперерабатывающих заводах за рубежом (например, в США и Европе) внедрение автоматизации и цифровых двойников насосов и компрессоров привело к снижению аварийности на 50 % и увеличению срока службы оборудования на 30 %. В Казахстане аналогичные системы внедряются постепенно, и результаты показывают положительную динамику, снижение аварийности на 25–30 % и увеличение срока службы на 15-20 %. В США и Европе срок службы насосов увеличен с 5 до 6,5 лет. В Казахстане срок службы насосов увеличен с 5 до 5,75 лет благодаря автоматизации [10].

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется в рамках проекта «Жас ғалым» AP19175752 «Научно-техническое обеспечение энергосбережения и ресурсоэффективности технологии приготовления высокооктановых бензинов и ароматических углеводородов» Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Внедрение автоматизированных систем управления и предиктивного обслуживания на нефтеперерабатывающих заводах демонстрирует высокую эффективность в снижении простоев, повышении производительности

и экономии энергии. Дальнейшая интеграция более продвинутых технологий, таких как цифровые двойники, может привести к еще большему улучшению показателей работы оборудования как на казахстанских, так и на международных предприятиях.

Эти данные демонстрируют положительное влияние автоматизации и предиктивного обслуживания на эксплуатацию насосов и компрессоров в нефтеперерабатывающей промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Иванов, А. А., Петров, В. В., Сидоров, И. И.** Автоматизация насосных и компрессорных систем на нефтеперерабатывающих заводах // Journal of Automation and Control Engineering № 3. – 2019 – С. 89–95. DOI: 10.18178/joaec.7.3.89–95.

2 **Lopes, I., Figueiredo, M., Sá, V.** Criticality Evaluation To Support Maintenance Management of Manufacturing Systems // International Journal of Industrial Engineering and Management Vol. 11, № 1, 2020 – P. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.24867/IJEM-2020-1-248>

3 **Xi, Y., Ren, J., Wang, L., Fu, S.** Receptivity and stability of hypersonic leading-edge sweep flows around a blunt body // Journal of Fluid Mechanics Volume 916 , R2, 2021. DOI: 10.1017/jfm.2021.217.

4 **Глаголева, О. Ф., Пискунов, И.В.** Энергосбережение – приоритетная задача современной нефтегазопереработки // Neftgaz.RU № 1(109), 2021.

5 **Нурғалиева, З., Баймуханов, Т.** Внедрение SCADA-систем на нефтеперерабатывающих заводах Казахстана // Kazakhstan Journal of Engineering and Technology Т. 9. – № 2. – 2017 – С. 113–120.

6 **Koroteev, D., Tekic, Z.** Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future // Energy and AI № 3, 2020 – P. 10. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>

7 WIPO. WIPO technology trends 2019: Artificial intelligence. Geneva : World Intellectual Property Organization, 2019 Jul 10.

8 **Сейтенова, Г. Ж., Дюсова, Р. М., Бурумбаева, Г. Р.** Математическое моделирование процессов нефтепереработки как метод ресурсосбережения и энергоэффективности // Журнал «Нефть и газ» № 1. – 2023 – С. 146–153. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.13>

9 Европейская комиссия. Технологии энергоэффективности в нефтегазовом секторе: отчет Европейской комиссии // European Commission Report on Industrial Energy Efficiency. Брюссель EC-200/20. – 2020.

10 КазМунайГаз. Годовой отчет о работе нефтеперерабатывающих заводов Казахстана. Астана: КазМунайГаз, 2019.

REFERENCES

1 **Ivanov, A. A., Petrov, V. V., Sidorov, I. I.** Avtomatizatsiya nasosnykh i kompressornykh sistem na neftepererabatyvayushchikh zavodakh [Automation of pumping and compressor systems at oil refineries] // Journal of Automation and Control Engineering T. 7, № 3 – 2019 – P. 89–95. DOI: 10.18178/joace.7.3.89–95.

2 **Lopes, I., Figueiredo, M., Sá, V.** Criticality Evaluation To Support Maintenance Management of Manufacturing Systems // International Journal of Industrial Engineering and Management Vol. 11, № 1 – 2020 – P. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.24867/IJEM-2020-1-248>

3 **Xi, Y., Ren, J., Wang, L., Fu, S.** Receptivity and stability of hypersonic leading-edge sweep flows around a blunt body // Journal of Fluid Mechanics Volume 916 , R2 – 2021. DOI: 10.1017/jfm.2021.217.

4 **Glagoleva, O.F., Piskunov, I.V.** Energosberigenie – prioritetnaya zadacha sovremennoi neftegazopererabotki [Energy saving is a priority task of modern oil and gas processing] // Neftegaz.RU № 1(109) – 2021.

5 **Nurgaliev, Z., Baimukhanov, T.** Vnedrenie SCADA-sistem na neftepererabatyvayushchikh zavodakh Kazakhstana [Implementation of SCADA systems at oil refineries in Kazakhstan] // Kazakhstan Journal of Engineering and Technology T. 9, № 2 – 2017 – P. 113–120.

6 **Koroteev, D., Tekic, Z.** Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future // Energy and AI № 3 – 2020 – P. 10. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>

7 WIPO. WIPO technology trends 2019: Artificial intelligence. Geneva: World Intellectual Property Organization – 2019 Jul 10.

8 **Seitenova, G. Zh., Dyussova, R.M., Burumbaeva, G. R.** Matematicheskoe modelirovanie processov neftepererabotki kak metod resursosberezhnena i energoeffektivnosti [Mathematical modeling of oil refining processes as a method of resource saving and energy efficiency] // Oil and Gas Magazine, №1 – 2023 g – P. 146–153. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.13>

10 Evropeiskaya komissiya. Tekhnologii energoeffektivnosti v neftegazovom sektore: otchet Evropeiskoi komissii // European Commission Report on Industrial Energy Efficiency. Bryussel’ – 2020 – EC-200/20.

11 KazMunayGaz. Godovoi otchet o rabote neftepererabatyvayushchikh zavodov Kazakhstana. Astana: KazMunayGaz – 2019.

Поступило в редакцию 23.10.24
Поступило с исправлениями 01.11.24
Принято в печать 04.12.24

***Р. М. Дюсова¹, Г. Ж. Сейтенова², А. С. Расмухаметова³**

¹Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

23.10.24 ж. баспаға түсті.

01.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЗАҚСТАНДА МӨЗ-ДЕГІ СОРҒЫЛАР МЕН КОМПРЕССОРЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Бұл мақалада мұнай өңдеу зауыттарында кеңінен қолданылатын сорғылар мен компрессорларға арналған заманауи автоматтандыру және алдын ала техникалық қызмет көрсету жүйелерінің жан-жақты талдауы ұсынылады. Авторлар SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) және DCS (Distributed Control System) жүйелеріне негізделген басқару технологияларын енгізудің негізгі тәсілдерін қарастырады, бұл жабдықтың жұмысын нақты уақытта оңтайландыруды қамтамасыз етеді. Арнайы назар математикалық модельдеуге аударылған, бұл сорғылар мен компрессорлардың жұмыс режимдерін жақсартуға ғана емес, сонымен қатар ықтимал ақауларды болжауға мүмкіндік береді.

Жабдықтың тозуын болжауға бағытталған алдын ала техникалық қызмет көрсетуді енгізу нәтижелері келтірілген, бұл жоспардан тыс тоқтап қалуды азайтып, жөндеу шығындарын төмендетуге көмектеседі. Мақалада Қазақстанда және шетелде осы шешімдерді қолданудың салыстырмалы талдауы жүргізілген, бұл халықаралық тәжірибелерді Қазақстан мұнай өңдеу зауыттарында енгізу перспективаларын бағалауға мүмкіндік береді. Ерекше назар жабдықтың энергия тиімділігін арттыруға, оның өнімділігін арттыруға және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға аударылған. Бұл материал мұнай-газ өнеркәсібінде жұмыс істейтін инженерлерге, зерттеушілерге және менеджерлерге өндірістік жабдықтың тиімділігі мен сенімділігін арттыруға қызығушылық танытатын пайдалы ресурс бола алады.

Кілтті сөздер: автоматтандыру, математикалық модельдеу, сорғылар, компрессорлар, мұнай өңдеу зауыты, SCADA, DCS, цифрлық егіздер.

*R. M. Dyusova¹, G. Zh. Seytenova², A. S. Rasmukhametova³

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

³Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 23.10.24

Received in revised form 01.11.24

Accepted for publication 04.12.24

OPTIMIZING PUMPS AND COMPRESSORS AT REFINERIES THROUGH AUTOMATION AND MODELING IN KAZAKHSTAN

This article provides a comprehensive analysis of modern automation and predictive maintenance systems for pumps and compressors widely used at oil refineries. The authors examine the main approaches to implementing control technologies based on SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) and DCS (Distributed Control System) systems, which ensure real-time optimization of equipment operation. Special attention is given to mathematical modeling, which not only enhances the operating modes of pumps and compressors but also predicts potential failures.

The results of implementing predictive maintenance aimed at forecasting equipment wear are presented, helping to minimize unplanned downtimes and reduce repair costs. The article offers a comparative analysis of the use of these solutions in Kazakhstan and abroad, allowing for an assessment of the prospects for adopting advanced international practices at Kazakh refineries. Particular focus is placed on improving the energy efficiency of equipment, increasing its productivity, and reducing maintenance costs. This material can serve as a valuable resource for engineers, researchers, and managers in the oil and gas industry who are interested in enhancing the efficiency and reliability of production equipment.

Keywords: automation, mathematical modeling, pumps, compressors, oil refinery, SCADA, DCS, digital twins.

МРНТИ 49.29.17

<https://doi.org/10.48081/WGZT9962>

***А. С. Звонцов¹, Ә. Б. Сағындық², Л. Н. Есмаханова³,
Ж. Е. Шукманов⁴, Ж. Б. Исабеков⁵**

^{1,2,5}Торайғыров университет, Республика Қазақстан, г. Павлодар

^{3,4}Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Республика Қазақстан, г. Тараз

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9708-5673>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3017-7133>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

*e-mail: trigal@mail.ru

АНАЛИЗ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В СВЕТОВОДАХ НА ПРИМЕРЕ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ

В статье дано определение и показаны физические основы дисперсии – одной из главных характеристик волновой оптики.

Показано, что с увеличением длины волны света показатель преломления уменьшается по параболическому закону – данный фундаментальный принцип справедлив как для диапазона волн видимого света, так и для инфракрасного излучения.

Определено, что в стекловолокне невозможно использовать строго монохроматический источник лазерного излучения волн для передачи сигнала.

Для этих целей используют группу волн с определенной частотой, и соответственно с определенным диапазоном физических длин, называемых волновым пакетом

Заданный волновой пакет перемещается в тракте передачи информации с определенной скоростью, которую можно найти в любой конкретный момент времени.

В качестве примера, показывающего изменение передаточных дисперсионных характеристик, были взяты дифференциальные изменения вблизи длин волн в 850, 1300 и 1550 нм, соответствующих

окнам прозрачности в инфракрасном диапазоне и нашедшей широкое применение в оптических телекоммуникационных системах.

В данной работе выделяют фазовую скорость, показывающей среднее перемещение вблизи номинальной длины волны и групповую скорость, учитывающей изменение дисперсии волнового пакета.

Ключевые слова: дисперсионные характеристики, показатель преломления, градиентный световод, волновой пакет, групповая скорость, фазовая скорость, коэффициент затухания.

Введение

Ввиду больших протяженностей волоконно-оптических линий связи расположение главного элемента системы передачи данных – кварцевого стекла – далеко не всегда линейно.

Кроме этого, модулированный передаваемый сигнал в стеклянной сердцевине и оболочке будет сопровождаться рэлеевским рассеянием, вызванной неоднородностью плотности материала [1, с. 11].

Оба этих факта влияют на выбор длины инфракрасного излучения, которая будет применяться для передачи информации

Характеристика материала, зависящая от передаваемой волны называется показателем преломления, а импульс, зависящий от показателя преломления– хроматической дисперсией.

Материалы и методы

Показатель преломления – это собственная физическая характеристика однородной среды, характеризующая прохождение световой волны или группы волн через вещество [2, с. 18].

В классической физике волновых процессов она определяет зависимость изменения длины волны от показателя преломления, которую можно представить в виде определенной функции

$$n = f(\lambda) \tag{1}$$

Эмпирическим путем было установлено, что зависимость длины волны от показателя преломления можно представить в виде приближенной формулы

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \tag{2}$$

где а и b – константы, характеризующие определенную пропускающую среду [3, с. 118-120].

Дисперсия показателя преломления $n(\lambda)$ для чистого кварцевого стекла Si O₂ показана в таблице 1

Таблица 1 – Различные показатели преломления для различных длин волн

Длина волны	1200	1300	1400
Показатель преломления	1,4481	1,4469	1,4458

Групповая скорость, связанная с показателем преломления n и длиной волны λ имеет вид

$$u = \frac{c}{n} \left(1 + \frac{\lambda \Delta n}{n \Delta \lambda} \right) \tag{3}$$

Определим среднюю дисперсию

$$\left\langle \frac{dn}{d\lambda} \right\rangle = \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \tag{4}$$

В нашем случае согласно (4)

$$\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = \frac{1,4458 - 1,4481}{(1400 - 1200) \cdot 10^{-9}} = -1,15 \cdot 10^4$$

Определим относительную дисперсию

$$\frac{\lambda \Delta n}{n \Delta \lambda} = \frac{1300 \cdot 10^{-9}}{1,4469} \cdot (-1,15 \cdot 10^4) = -0,0133$$

что соответствует нормальному нисходящему наклону кривой

Групповая скорость согласно (3)

$$u = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (1 - 0,0133)}{1,4469} = 2,0458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Учитывая выражение для фазовой скорости

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,4469} = 2,0734 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Для заданной волны в 1300 нм групповая скорость оказалась меньше фазовой, что соответствует области нормальной дисперсии (>0) [4, с. 13]

Определим групповой показатель преломления вблизи

$$n_{гр} = \frac{c}{u} \tag{5}$$

согласно (5)

$$n_{гр} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,04 \cdot 10^8} = 1,4714$$

В таблице 2 приведены основные передаточные характеристики волновых пакетов

Таблица 2 – Передаточные характеристики волновых пакетов

Длина волны λнм	Групповая скорость u, м/с	Фазовая скорость v, м/с	Групповой показатель преломления n _{гр}	Отношение фазовой скорости к групповой, u/v
850			1,4719	1,015
1300			1,4714	1,013
1550			1,4628	1,012

Результаты измерения оптической кабельной трассы показаны на рисунке 1



Рисунок 1 – Измерения оптическим рефлектометром

Результаты эмпирического измерения, как представлено выше, показывают, что показатель преломления (ПП) равен 1,468325 что соответствует группам длин волн вблизи 1550 нм [5, с. 116-118].

Световой импульс, вводимый в многомодовое волокно, представляет из себя ряд парааксиальных лучей, распространяющихся вдоль главной оптической оси.

Световой путь, проходимый осевым лучом можно найти как

$$S = n_1 \cdot l \tag{6}$$

где n_1
 l , м

Время прохождения пути в сердцевине осевым лучом в таком случае может быть найдено как

$$t_{серцев.} = \frac{n_1 \cdot l}{c} \tag{7}$$

Выбранный путь, пройденный меридиональным лучом в моде оболочки, учитывая критический угол распространения света

$$t_{об.} = \frac{n_1 \cdot l}{c \cdot \sin(\theta)} \tag{8}$$

где $\sin(\theta) = \frac{n_2}{n_1}$ – значение критического угла для моды наивысшего порядка

Таким образом ширина импульса прохождения волнового фронта составит

$$\Delta t = t_{об.} - t_{серцев.} = \frac{n_1 \cdot l}{c \cdot \sin(\theta)} - \frac{n_1 \cdot l}{c} = \frac{n_1 \cdot (n_1 - n_2) l}{n_2 \cdot c}$$

Данный параметр называем материальной дисперсией.

Интенсивность рассеяния может быть найдена из соотношения

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} \tag{9}$$

где λ – длина волны излучаемого света, нм

В таблице 3 приведены относительные значения данного параметра

Таблица 3 – Относительные значения интенсивности рэлеевского рассеяния

Значение рассеяния	Длина волны ИК-излучения, нм		
	850	1300	1550
	1,92	0,35	0,17

Таким образом при длине волны в 1550 нм влияние рэлеевского рассеяния в 11,3 и 2,05 раза меньше, чем при длинах в 850 и 1300 нм соответственно [6, с. 17].

Для его сохранения волна, распространяющаяся по изогнутому проводнику должна выполнять следующее условие

$$x_R = \frac{(v-u)}{v} \cdot R \quad (10)$$

где v – фазовая скорость, м/с;
 u – групповая скорость, м/с;

В таблице 4 даны значения для инфракрасных потерь

Таблица 4 – Абсолютные излучательные инфракрасные потери

Длина волны, нм	Излучательные инфракрасные потери, Дб/км
850	0,4
1300	0,525
1550	0,573

Потери в дальнем инфракрасном диапазоне превосходят потери для диапазона групп волн вблизи 850 нм в 1,43 раза меньше потерь на максимальной длине [7, с. 551]

$$\alpha_{ик} = C_1 \cdot e^{-C_2 \cdot R} \quad (11)$$

где C_1 и C_2 – константы, зависящие от порядка моды.

В таблице 5 приведены значения потерь на излучение в окружающую среду от хода меридиональных лучей в моды оболочки [8, с. 52]

Таблица 5 – Инфракрасные потери с учетом лучепреломления

Длина волны, нм	Излучательные инфракрасные потери, Дб/км
850	0,445
1300	0,554
1550	0,568

Суммарное значение потерь приведено в таблице 6

Таблица 6 – Алгебраические потери в кабельном тракте

Длина волны ИК-излучения, нм	Значение потерь с учетом вычисленных параметров
850	1,67
1300	0,755
1550	0,702

Как видим, снижение в потерях составляет 58%.

Результаты и обсуждение

Динамика показателей значений предельных оптических возвратных потерь и предельных величин обратного отражения для муфтовых соединений с числом касет $N=4$ при различных уровнях качества сигнала показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Показатели значений предельных оптических возвратных потерь и предельных величин обратного отражения для муфтового соединения с числом касет $N=4$

Таким образом влияние хроматической дисперсии в многомодовом волокне более значительно [9, с. 51].

Выводы

В больших трактах передачи информации необходимо решать проблемы, связанные с энергетическими потерями кабельных линий.

Один из этих факторов – рэлеевское рассеяние излучения в тракте передачи информации, расчеты относительного и абсолютного значений которых приведены в данной публикации. Анализ показывает, что работа современных лазеров на высоких длинах волн является более приоритетной [10, с. 482].

Потери излучения в ближнем инфракрасном спектре в 10-11 раз больше потерь в дальнем инфракрасном излучении.

Второй фактор – потери на излучение в окружающую среду – также связан с длиной волны передающего источника и радиуса изгиба световода: они возрастают по закону экспоненты при его уменьшении.

Суммарные потери этих двух факторов гораздо меньше при максимальной длине волны – приблизительно на 58% .

Затухание волны в оптических волокнах вызывается расходом энергии на возбуждение колебаний электронов. В конечном счете при прохождении через оптоволокно происходит френелевское отражение электромагнитных волн – третий фактор, рассмотренный в данной работе – которое может быть значительным из-за отсутствия закругленных краев торцов световодов, в том числе в противоположном направлении идущего луча.

Определено, что разъемное соединение находится в контакте в соответствии с рекомендацией Международной электротехнической комиссии при условии многократного превосходства рабочей длины волны над границей раздела двух сред.

Результирующая и среднеквадратичная дисперсии для различных длин многомодового тракта на 60 % превосходят данные параметры у одномодовых.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **T. Bintz, S. M. Nagel, L. Stelzner, R. Lauinger, W. Schmidt and S. Kuschwitz.** “An NMR tomograph for building materials- applications, experimental studies and limitations» – 2021 13th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA), Kiel, Germany, 2021, P. 1-5, doi: 10.1109/ISEMA49699.2021.9508330

2 **K. M. Dwivedi, G. Trivedi and S. K. Khijwania.** «Theoretical Study and Optimization of Apodized Fiber Bragg Grating for Single and Quasi-distributed

Structural Health Monitoring Applications,» 2020. –30th International Conference Radioelektronika (Radioelektronika), Bratislava, Slovakia, 2020, P. 1-6, doi: 10.1109/radioelektronika49387.2020.9092399.

3 **Орликов Л. Н.** Технология приборов оптической электроники и фотоники : учебное пособие / Орликов Л. Н.. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 87 с.

4 **Рыбаков Н. А.** Моделирование процесса распространения электромагнитных волн по оптическому волокну: учебное пособие / Рыбаков Н. А., Рыбаков А. П.. – Пермь : Пермский государственный технический университет, 2011. – 68 с.

5 **Ахманов, С. А.** Физическая оптика : учебник / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. – Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. – 656 с. – ISBN 5-211-04858-X. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13050.html>

6 **Мещерякова, Н. Е.** Физика. Оптика: учебное пособие / Н. Е. Мещерякова. – Волгоград : Волгоградский институт бизнеса, 2009. – 70 с. – ISBN 978-5-9061-7251-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/11358.html>

7 **Zvontsov, A., Neftissov, A., Kirichenko, L** Analysis of the transfer characteristics of refractive indices and nonlinear effects in optical optical fibers using the example of chromatic dispersion // *SIST 2024 - 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies, proceedings*, 2024, С. 548–553

8 **Криворучко В. А., Звонцов А. С.** Управление физическим уровнем инфокоммуникационной сетевой модели ISO OSI [Текст]: научный журнал/ М.: Современная гуманитарная академия, 2014. № 10. – С.57–69

9 **Звонцов А. С., Кислов А. П.** Метрологическое обеспечение пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи [Текст]: научный журнал вестник Торайғыров университета, 2021. № 3. – С. 50–62

10 **Olzhas Talipov, Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko** Metrological Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics. // *2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28-30 April, 2022, Nur-Sultan, Kazakhstan P.482–486*

REFERENCES

1 **T. Bintz, S. M. Nagel, L. Stelzner, R. Lauinger, W. Schmidt and S. Kruschwitz.** Vysokochastotnyj tomograf dlya stroitel'nyh materialov – primeneniye, eksperimental'nye issledovaniya i ogranicheniya [An NMR tomograph for building materials- applications, experimental studies and limitations] [Text] – 13-ya Mezhdunarodnaya konferenciya po vzaimodejstviyu elektromagnitnyh voln s vodoy i vlazhnymi veshchestvami, Kiel, Germany, 2021, P. 1–5, doi: 10.1109/ISEMA49699.2021.9508330

2 **K. M. Dwivedi, G. Trivedi and S. K. Khijwania.** Teoreticheskoye issledovaniye i optimizatsiya apodizirovannoy volokonnoy breggovskoy reshetki dlya odinochnykh i kvaziraspredelennykh prilozheniy monitoringa sostoyaniya konstruktsiy [Theoretical study and optimization of apodized fiber bragg grating for single and quasi-distributed structural health monitoring applications] [Text] - Mezhdunarodnaya konferenciya radioelektroniki, Bratislava, Slovakia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/radioelektronika49387.2020.9092399.

3 **Orlikov L. N.** Tekhnologiya priborov opticheskoy elektroniki i fotoniki : uchebnoe posobie [Technology of optical electronics and photonics devices: textbook] [Text]- Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2012. – 87 c.

4 **Rybakov N.A.** Modelirovanie processa rasprostraneniya elektromagnitnyh voln po opticheskomu voloknu: uchebnoe posobie [Modeling the process of propagation of electromagnetic waves along an optical fiber: a tutorial] [Text] - Perm' : Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2011. – 68 p.

5 **Ahmanov, S. A.** Fizicheskaya optika : uchebnik [Physical optics: textbook] / - Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V. Lomonosova, 2004. - 656 c. – ISBN 5-211-04858-H. – [Text] - Cifrovoy obrazovatel'nyj resurs IPR SMART: [sajt]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/13050.html>

6 **Meshcheryakova, N. E.** Fizika. Optika: uchebnoe posobie [Physical optics: textbook] / N. E. Meshcheryakova. – Volgograd : Volgogradskij institut biznesa, 2009. – 70 c. – ISBN 978-5-9061-7251-8. [Text] – Cifrovoy obrazovatel'nyj resurs IPR SMART: [sajt]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/11358.html>

7 **Zvontsov, A., Neftissov, A., Kirichenko, L** Analiz peredatochnykh harakteristik pokazatelej prelomleniya i nelinejnykh effektov v opticheskikh voloknah na primere hromaticheskoy dispersii [Analysis of the transfer characteristics of refractive indices and nonlinear effects in optical optical fibers using the example of chromatic dispersion] [Text] - *SIST 2024 - 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies, proceedings*, 2024. P. 548–553

8 **Krivoruchko V.A., Zvontsov A.S.** Upravlenie fizicheskim urovнем infokommunikacionnoj setевой modeli ISO OSI [Management of info-

communication network ISO OSI model's physical level] [Text].- nauchnyj zhurnal M.:Sovremennaya gumanitarnaya akademiya, –2014. №10. – P. 57–69

9 **Zvontsov A. S, Kislov A.P.** Metrologicheskoe obespechenie passivnykh komponentov volokonno-opticheskikh linij svyazi [Metrological support of passive components of fiber-optical communication lines] [Tekst]: nauchnyj zhurnal vestnik Torajgyrov universiteta, – 2021. №3. – P. 50–62

10 **Olzhas Talipov, Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko** Metrologicheskoe obespechenie passivnykh komponentov volokonno-opticheskikh linij svyazi dlya opredeleniya parametrov effektivnoj dliny mnogomodovogo trakta s uchetom dispersionnykh harakteristik Metrological [Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics] [Text] – 2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28–30 April, 2022, Nur-Sultan, Kazakhstan P. 482–486

Поступило в редакцию 14.10.24

Поступило с исправлениями 21.10.24

Принято в печать 04.12.24

*А. С. Звонцов¹, Ә. Б. Сағындық², Л. Н. Есмаханова³, Ж. Е. Шукаманов⁴,
Ж. Б. Исабеков⁵

^{1,2,5}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{3,4}М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

14.10.24 ж. баспаға түсті.

21.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ХРОМАТИКАЛЫҚ ДИСПЕРСИЯ МЫСАЛЫН ПАЙДАЛАНУ ӨРІСТІҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНІҢ ЖӘНЕ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ӘСЕРЛЕРДІҢ ӨТКІЗУ ТАЛДАУ

Мақалада толқындық оптиканың негізгі сипаттамаларының бірі дисперсияның физикалық негізі анықталған және көрсетілген.

Жарықтың толқын ұзындығы ұлғайған сайын сыну көрсеткіші параболалық заңға сәйкес төмендейтіні көрсетілді – бұл іргелі принцип көрінетін жарықтың толқын ұзындығының диапазоны үшін де, инфрақызыл сәулелену үшін де жарамды.

Шыны талшықта сигналды беру үшін лазерлік толқындық сәулеленудің қатаң монохроматикалық көзін пайдалану мүмкін емес екені анықталды.

Осы мақсаттар үшін толқындар пакеті деп аталатын белгілі бір жиіліктегі және сәйкесінше физикалық ұзындықтардың белгілі бір диапазоны бар толқындар тобы қолданылады.

Берілген толқындық пакет ақпаратты беру жолында белгілі бір жылдамдықпен қозғалады, оны уақыттың кез келген нақты сәтінде табуға болады.

Бұл жұмыста номиналды толқын ұзындығына жақын орта ығысуды көрсететін фазалық жылдамдықты және толқын пакетінің дисперсиясының өзгеруін ескеретін топтық жылдамдықты ажыратамыз.

Тасымалдау дисперсиясының сипаттамаларының өзгеруін көрсететін мысал ретінде инфрақызыл диапазондағы мөлдірлік терезелеріне сәйкес келетін және оптикалық телекоммуникациялық жүйелерде кеңінен қолданылатын 850, 1300 және 1550 нм толқын ұзындығына жақын дифференциалды өзгерістер алынды.

Бұл жұмыста номиналды толқын ұзындығына жақын орта ығысуды көрсететін фазалық жылдамдықты және толқын пакетінің дисперсиясының өзгеруін ескеретін топтық жылдамдықты ажыратамыз.

Кілтті сөздер: дисперсиялық сипаттамалар, сыну көрсеткіші, градиенттік талшық, толқындық пакет, топтық жылдамдық, фазалық жылдамдық, әлсіреу коэффициенті.

*A. S. Zvontsov¹, A. B. Sagyndyk², L. Yesmakhanova³, Zh. Shukamanov⁴, J. B. Issabekov⁵

^{1,2,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

^{3,4}M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz

Received 14.10.24

Received in revised form 21.10.24

Accepted for publication 04.12.24

ANALYSIS OF TRANSFER CHARACTERISTICS AND NONLINEAR EFFECTS IN OPTICAL GUIDES USING CHROMATIC DISPERSION

The article defines and shows the physical basis of dispersion, one of the main characteristics of wave optics.

It is shown that with increasing wavelength of light, the refractive index decreases according to a parabolic law - this fundamental principle is true for both the visible light range and infrared radiation.

It is determined that it is impossible to use a strictly monochromatic source of laser radiation waves in fiberglass for signal transmission.

For these purposes, a group of waves with a certain frequency, and accordingly with a certain range of physical lengths, called a wave packet, is used.

As an example showing the change in the transfer dispersion characteristics, differential changes near wavelengths of 850, 1300 and 1550 nm were taken, corresponding to the transparency windows in the infrared range and widely used in optical telecommunication systems.

A given wave packet moves in the information transmission path at a certain speed, which can be found at any particular moment in time.

In this work, the phase velocity is distinguished, showing the average movement near the nominal wavelength and the group velocity, taking into account the change in the dispersion of the wave packet.

Keywords: dispersion characteristics, refractive index, graded-index fiber, wave packet, group velocity, phase velocity, attenuation coefficient.

<https://doi.org/10.48081/XEAY7203>

**А. Д. Золотов¹, А. С. Бидахметов², *Е. А. Оспанов³,
Р. С. Бекбаева⁴, А. К. Муханбеткалиева⁵**

^{1,2,3,4} Университет имени Шакарима Республика Казахстан г. Семей,

⁵ Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан г. Астана

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-8161>

² ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5507-5765>

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3218-4591>

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-3331>

e-mail: 78oea@mail.ru

ОБЗОР ТРЕНДОВ В АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

В данной статье проанализированы последние тенденции и тренды в области автоматизации бизнес-процессов малого и среднего бизнеса. Рассмотрены достижения машинного интеллекта, роботизированной автоматизации в бизнес-процессах, использование облачной платформы Azure на предприятиях, использование блокчейн, Big Data. Рассмотрены такие технологии, как e-CRM, умное производство, профилактическое обслуживание, IoT, CRM, SCM, технологии Enterprise Resource Planning, Robotic Process Automation, интегрированные корпоративные информационные системы (EwIS).

Ключевые слова: автоматизация бизнес-процессов, CRM, SCM, технологии Enterprise Resource Planning, Robotic Process Automation, Интегрированные корпоративные информационные системы (EwIS)

Введение

В последние годы резко возросло значение автоматизации и цифровизации в области управления бизнес-процессами малого и среднего бизнеса. В промышленно развитых странах автоматизация процессов служит для повышения качества продукции, освоения всего ассортимента продукции, повышения безопасности технологического процесса и эксплуатационной готовности оборудования, эффективного использования

ресурсов и снижения выбросов. В быстро развивающихся странах массовое производство является основной мотивацией для применения автоматизации процессов. Наибольшим спросом на автоматизацию процессов пользуются химическая, энергетическая и **нефтехимическая** отрасли, быстрее всего спрос на оборудование, стандартное программное обеспечение и услуги автоматизации процессов растет в фармацевтической промышленности.

Важность технологий автоматизации в перерабатывающих отраслях продолжает расти. Традиционные барьеры между информационными, коммуникационными и автоматизированными технологиями постепенно исчезают в операционном контексте. Новейшие технологии, в том числе беспроводные сети, системы полевых шин и системы управления активами, повышают эффективность технологических систем. Новые области применения, такие как биотехнология и **микротехнология**, ставят перед будущими задачами теоретическую работу по моделированию, анализу и проектированию систем управления.

Материалы и методы

На первом этапе был проведен литературный обзор источников по данному направлению. На втором этапе были проанализированы тенденции и тренды в области автоматизации бизнес-процессов. На третьем этапе были выявлены наиболее оптимальные тенденции в автоматизации бизнес-процессов.

Результаты и обсуждение

В исследованиях **Tathagata Chakraborti** и др. рассматривается влияние достижений машинного интеллекта, роботизированной автоматизации на бизнес-процессы. Отмечается развитие Интеллектуальной автоматизации процессов, которая использует технологии машинного обучения и искусственного интеллекта для улучшения результатов бизнес-процессов. Изучается рассмотрение задач автоматизации и цифровизации бизнес-процессов в контексте с методами искусственного интеллекта[1].

По данным исследований компании Intechno Consulting (Базель, Швейцария), мировой рынок автоматизации процессов растет в среднем на 5,1% в год в период с 2005 года. Развитие коммуникационных технологий оказало значительное влияние на изменение структуры систем промышленной автоматизации. В прошлом коммуникационная поддержка в автоматизированных производственных системах строилась на основе концепции компьютерно-интегрированного производства (СІМ). В этой иерархической структуре различные уровни функциональности были четко определены, и каждое устройство выполняло свою конкретную задачу. Для соединения устройств одного уровня использовались специализированные сети. Модельное предиктивное управление стало стандартным решением

для многопараметрического управления в промышленности непрерывных процессов и в настоящее время охватывает более 90 % промышленных реализаций многопараметрического управления (Richalet et al., 1976, Richalet et al., 1978). Одной из причин его успеха является его способность работать с многомерными системами, подверженными ограничениям на вход и выход (Dochain, Marquardt, Won, Malik, & Kinnaert, 2006) [2].

Предприятия должны быстро и эффективно адаптировать свои бизнес-процессы к новым бизнес-средам, чтобы обеспечить успех бизнеса и выживание в долгосрочной перспективе. Недостаточно применять лучшие бизнес-практики, необходимо разрабатывать и внедрять новые практики. Этим требованиям отвечают новые технологии автоматизации бизнес-процессов, основанные на таких концепциях, как веб-сервисы, Enterprise application integration, рабочие процессы, архитектуры корпоративных сервисов и механизмы автоматизации. Автоматизация бизнес-процессов становится ключевым фактором, способствующим совершенствованию бизнес-процессов.

Автоматизация процессов становится элементом общего подхода к управлению жизненным циклом процессов, структурированного на основе Дома делового совершенства ARIS и реализуемого с помощью программных инструментов, таких как набор инструментов ARIS[3].

Методы автоматизированного планирования могут быть использованы для обеспечения новых уровней автоматизации и поддержки решения конкретных проблем в области управления бизнес-процессами, которые ранее решались с помощью жестко запрограммированных решений. В управлении бизнес-процессами задача кодирования конкретной проблемы должна решаться как подходящая задача планирования, затем должна решаться задача интеграции технологии планирования в BPM-среды[4].

Активное использование в управлении бизнес-процессами получают синергетические новые технологии, беспроводные технологии, встраиваемые устройства, сервис-ориентированная архитектура и инфраструктура приложений[5].

Электронное управление взаимоотношениями с клиентами (e-CRM) – это набор процессов, концепций и инструментов, которые позволяют организации максимально эффективно использовать свои приложения для электронного бизнеса. Цель e-CRM состоит не только в том, чтобы внести изменения в область маркетинга, но и в том, чтобы повысить эффективность компании в управлении клиентами, а затем повысить качество обслуживания клиентов, защитить ценных клиентов и помочь предоставить организациям аналитические возможности. Различные возможности, предоставляемые e-CRM, включая интерактивные и импровизированные отношения с

клиентами, управление точками соприкосновения с клиентами и варианты персонализации, даже больше, являются мощным способом получения конкурентного преимущества. Компьютерные технологии, включая профили клиентов, поддержку принятия решений и хранилища данных, применимы в e-CRM, однако веб- и компьютерные разработки делают различные дополнительные технологии применимыми к e-CRM. Например, голосовые порталы (Interactive Voice Response), боты, виртуальные представители клиентов и веб-телефоны (IP-телефония/VoIP) [6]. CRM разделена на четыре отдельные ветви, а именно стратегическую CRM, аналитическую CRM, операционную CRM и коллаборативную CRM. В последнее время фокус сместился с аналитической на стратегическую CRM, которая является самой популярной отраслью. В Strategic CRM не хватает исследований с ресурсно-ориентированным представлением. Существует необходимость в дополнительных исследованиях в области операционной CRM и коллаборативной CRM. Есть необходимость в исследованиях с ресурсно-ориентированным взглядом на CRM [7].

Качественные и эффективные инструменты инновационно-цифровой трансформации в условиях виртуальной реальности должны включать: единую систему управления заказами в режиме on-line для всех предприятий (регистрация заявок – техническая экспертиза – планирование – контроль эффективности – отгрузка); Умное производство, профилактическое обслуживание, IIoT, CRM, SCM, использование облачной платформы Azure на предприятиях, которая включает в себя более 200 продуктов и облачных сервисов. Использование технологий Aruba помогает определить местоположение, позволяя внедрять гибкие решения на основе партнерской экосистемы Aruba с помощью интерфейса USB. Предлагается использовать SYNTEGRA – сервис интеграции данных, обеспечивающий интерактивную аналитику и предоставляющий модели данных и дашборды с целью ускорения модернизации хранения и управления данными, оптимизации отчетности в компании и получения аналитики в режиме реального времени. Определены возможности использования облачной платформы Azure при цифровизации бизнес-процессов предприятий экосистемы Индустрии 4.0 в условиях виртуальной реальности[8].

Интернет-магазины стали важной частью экономики практически любой страны. Больше всего покупок через интернет делают в Китае – 562,7 миллиарда долларов. Онлайн-шопинг – одна из самых быстрорастущих сфер в этой стране.

В США интернет-шопинг – одна из самых быстрорастущих сфер. В этой стране онлайн-магазины есть у 57,4 % магазинов. В Великобритании – у 13% [9].

RFID (радиочастотная идентификация это технология, которая помогает бизнесу. Она используется в логистике, производстве и других сферах. RFID помогает привлекать клиентов, повышать их лояльность к бренду и улучшать обслуживание.

Ещё одна часть цифровой эпохи – виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность. Она используется в маркетинге, чтобы показать товар клиенту.

Современный бизнес, который работает с конечными потребителями, использует так же цифровые платформы. Это сайты, где продавцы и покупатели могут найти друг друга. Компании, которых нет на таких платформах, теряют возможности

Компании, которые не представлены на таких платформах, теряют возможность использовать свои активы. Использование цифровых платформ делает предпринимателя более мобильным, даёт доступ к конечному потребителю и позволяет быстро реагировать на изменения рынка.

Еще одно новое направление в бизнес-процессах это нейромаркетинг - направление, которое объединяет нейронауку, психологию и маркетинг. Оно изучает, как люди реагируют на маркетинговые стимулы.

Для маркетологов нейромаркетинг наиболее привлекателен, так как помогает быстрее понять, что нравится клиентам [10].

Финансовая сфера тоже меняется из-за цифровых технологий. Такие технологии, как блокчейн и Big Data влияют на инвестиционную деятельность. Финансовый сектор использует краудфандинг, краудлендинг и ICO.

Также такие методы финансирования, когда деньги собираются с большого числа людей, обычно через интернет платформы, или специальные сайты – краудфандинг. Владельцы бизнеса также используют краудлендинг – где в роли заемщика выступают сами владельцы бизнеса, которым средства предоставляют физические и юридические лица через онлайн платформу.

Эксперты говорят, что цифровые каналы коммуникации становятся всё важнее для принятия инвестиционных решений. На конец 2024 года 56 % инвестиций планируется провести через мобильные каналы [11].

Доступность электронных платежей за товары и услуги также стимулирует развитие финансового сектора.

В связи с этим возрастает потребность в изменении бизнес-процессов в производстве, поскольку производство становится всё более зависимым от использования цифровых технологий.

Электронные платежи за товары и услуги тоже меняют финансовый сектор. Производство тоже меняется из-за цифровых технологий. В производстве используются новые технологии.

Все большее развитие в области промышленной цифровизации получает технологии «промышленного интернета вещей».

Интернет вещей (IoT) – это технология, которая используется в производстве. Она помогает автоматизировать производство и управление персоналом. IoT собирает данные о производстве, логистике и других процессах.

IoT имеет положительный эффект для индустрии. Количество подключённых устройств растёт. В 2014 году их было 1,2 миллиарда, а к 2025 году их будет 6,5 миллиарда [12].

Еще одно направление, широко используемое как в бизнесе это метод автоматической идентификации через радиосигнал, та называемое RFID технологии.

RFID-технологии применяются в различных областях, в том числе на производстве. Они помогают ускорить и оптимизировать процессы погрузки и разгрузки, а также автоматизировать межведомственное планирование и другие задачи.

Цифровая трансформация затрагивает производственные процессы благодаря использованию 3D-печати. В отличие от традиционных методов, эта технология позволяет быстро создавать готовые изделия из разнообразных материалов. Кроме того, она позволяет корректировать конструкцию узлов и деталей ещё на этапе проектирования, что значительно снижает затраты на подготовку производства.

Существует множество методов 3D-печати, основанных на послойном формировании объекта, включая лазерную стереолитографию, стереолитографию с использованием маски-изображения, PolyJet, селективное лазерное спекание, электронно-лучевую плавку, расслоение, затвердевание после охлаждения, полимеризацию фотополимерного пластика, склеивание или спекание и другие.

Существует множество методов 3D-печати, основанных на послойном формировании объекта, включая лазерную стереолитографию, стереолитографию с использованием маски-изображения, PolyJet, селективное лазерное спекание, электронно-лучевую плавку, затвердевание после охлаждения, полимеризацию фотополимерного пластика, склеивание или спекание и другие [13].

Также существует множество инструментов и методов цифровой экономики, которые влияют на несколько бизнес-процессов в предпринимательской структуре. Одной из таких технологий является ERP.

ERP (Enterprise Resource Planning) – это корпоративная информационная система, предназначенная для автоматизации учёта и управления. ERP-системы обычно структурированы вокруг модульного решения и в той или иной степени охватывают все ключевые процессы компании.

ERP включает в себя следующие подсистемы: производство; снабжение и маркетинг; техническое обслуживание оборудования и выпускаемой продукции; финансы; логистика.

Существует множество ERP-систем, которые представлены на рынке. Это SAP AG, Oracle, Microsoft Business Solutions, «Галактика», Epicor Scala и другие. По состоянию на 2023 год ERP-системы использовали более 20 % бизнес-сектора [14]

В управлении бизнес-процессами существует огромное количество новых цифровых технологий, но также существует высокая степень неопределенности. Для решения подобного рода проблем используется проектирование плана действий и разработка ситуационных методов. В первом цикле проводится опрос работников данной сферы. Проводятся реальные исследования данного предприятия, результаты обрабатываются при помощи пакетов (Power BI). На основании полученных выводов заключение об использовании того или иного приложения [15].

Языки, стандарты и нотации BPM классифицируются по четырем основным группам: стандарты исполнения, обмена данными, графические стандарты и стандарты диагностики. В настоящее время не хватает установленных стандартов диагностики. Такая классификация способствовала бы значимому внедрению языков, стандартов и обозначений BPM. Для повышения результатов автоматизации бизнес-процессов необходимо проводить дифференциацию стандартов BPM [16].

Организации долгое время сталкивались с трудностями, связанными с отсутствием интеграции по горизонтали и вертикали, а также с необходимостью обеспечить высокий уровень координации на уровне всего предприятия.

Чтобы решить эту проблему, появились специальные программы – ERP. ERP – это система планирования ресурсов предприятия. Они помогают работать вместе различным отделам и принимать правильные решения, так как базируется на общей базе данных и единого источника информации.

Со временем программы претерпели ряд улучшений. Появились ERP I, ERP II и ERP III. А в будущем будут ещё лучше – с использованием блокчейна, облачных технологий и искусственного интеллекта. Они помогут автоматизировать работу предприятий [17].

Использование веб-сервисов в сочетании с управлением бизнес-процессами (BPM) для поддержки С-коммерции является значимым аспектом в автоматизации бизнес-процессов. Для практической реализации таких систем необходимо провести углубленный анализ природы BPM и веб-сервисов как с теоретической, так и с технической точек зрения. В последнее время предлагается разработка архитектуры для BPM с

поддержкой веб-сервисов в С-Commerce. На сегодняшний день разработаны прототипы приложений, использующих веб-сервисы для поддержки динамичного процесса электронных закупок, важного приложения для С-коммерции. Благодаря этой сервис-ориентированной архитектуре приложение электронных закупок может получать доступ к информации о ценах и запасах в режиме реального времени от динамичного набора поставщиков, чтобы быстро принимать решение о покупке на месте. Для поддержки моделирования и развертывания этого сложного процесса закупок используется система управления бизнес-процессами (BPMS) [18].

В настоящее время в области бизнес-аналитики (BI) и управления эффективностью бизнеса (BPeM) наблюдается тенденция к более тесному взаимодействию этих направлений с бизнес-процессами (BPS). Они помогают компаниям принимать решения и улучшать работу.

Бизнес-аналитика помогает анализировать данные и делать выводы. Она нужна, чтобы принимать стратегические и тактические решения. Управление эффективностью бизнеса помогает следить за работой компании и улучшать её.

Особое значение имеет операционная аналитика. Она помогает принимать решения на основе данных.

Но у операционной аналитики есть недостаток: она не всегда учитывает все аспекты работы компании.

Чтобы исправить это, нужно использовать наукоёмкие системы управления бизнес-процессами. Они помогут лучше понять, как работает компания.

Для этого нужно провести анализ бизнес-процессов и определить, какие из них нужно улучшить [19].

Есть несколько методов анализа корпоративных систем. Один из них – использование моделей бизнес-процессов. Они помогают понять, как работает компания.

Есть ещё один метод – разработка корпоративного программного обеспечения. Он основан на подробных определениях процессов.

Есть ещё один метод – использование языка выполнения бизнес-процессов (BPEL). Он помогает сделать бизнес-процессы исполняемыми.

Есть метод, который помогает перевести модели бизнес-процессов в определения BPEL. Но это сложно, потому что модели BPMN и определения BPEL сильно отличаются.

Есть ещё один метод, который не накладывает ограничений на модели BPMN. Он помогает сделать определения BPEL более читаемыми.

Этот метод проверили на большом наборе моделей процессов. Оказалось, что определения BPEL структурированы по блокам. Этот метод помогает не только в контексте BPMN и BPEL. Он также решает проблемы

при переводе с графоориентированных языков на языки определения потока с блочной структурой [20].

В этом документе представлены идеи, лежащие в основе BPMML, языка моделирования бизнес-процессов, опубликованного BPMI. BPMML предоставляет процессно-ориентированный (в отличие от датацентричного) метаязык и модель исполнения для бизнес-систем. В его основе лежит сильная математическая основа — пи-исчисление. Необходимо смоделировать бизнес-процессы непосредственно в исполняемой форме, чтобы мобильность и изменчивость, присущие бизнес-поведению, отражались и поддерживались в соответствующих ИТ-системах, стирая существующее разделение между ИТ и бизнесом.

В сфере информационных технологий существует множество подходов к созданию программных продуктов, автоматизирующих бизнес-процессы. ИТ-рынок постоянно пополняется новыми технологиями, которые стимулируют разработчиков к поиску инновационных методов разработки программного обеспечения.

Появляются новые языки программирования и методологии, каждая из которых представляет собой новый этап в развитии вычислительной техники. Примерами таких подходов являются одноранговые, распределённые и коммунальные вычисления, самоорганизующиеся сети передачи данных, семантическая паутина и распределённые агенты [21].

Проблемы, связанные с разработкой программного обеспечения, хорошо известны: проекты часто завершаются с опозданием, стоимость превышает первоначальные ожидания, а полученные системы могут оказаться ненадёжными и сложными в обслуживании. Даже если информационные системы технически надёжны, они часто приводят к неудовлетворительным организационным результатам.

ERP-системы продаются на основании того, что они могут снизить многие риски, связанные с разработкой систем, и привести полученную систему в соответствие с бизнес-требованиями. ERP-системы представляют собой интегрированные программные пакеты, которые автоматизируют основные виды корпоративной деятельности, такие как финансы, логистика и управление человеческими ресурсами, и стали стандартом де-факто во многих отраслях в девяностые годы. ERP-системы вывели разработку систем на новый уровень зрелости.

Специалистам по информационным системам и учёным потребовалось несколько десятилетий, чтобы понять, что информационные системы необходимо разрабатывать с учётом потребностей бизнеса. Однако внедрение ERP-систем предполагает обратное: организация должна реорганизовать свой бизнес в соответствии с неявной бизнес-моделью «лучшей практики»,

содержащейся в системе. Фокус усилий сместился с технического анализа и программирования на проектирование бизнес-процессов и бизнес-ориентированную конфигурацию программного обеспечения [22].

Разработка программного обеспечения в настоящее время включает в себя несколько уровней абстракции: от программирования отдельных объектов, до их объединения в компоненты, до их публикации в виде сервисов и общей архитектуры, связывающей элементы на каждом уровне. В результате, [программная инженерия](#) имеет дело с более широким спектром артефактов и концепций (т.е. сервисами и бизнес-процессами), чем когда-либо прежде. Важно наличие адекватного движка для выполнения бизнес-процессов, написанных в виде композиций Web-сервисов. Независимо от используемого языка композиции, общая масштабируемость системы определяется тем, как исполняющий движок обрабатывает выполнение процесса. Это особенно актуально на уровне сервиса, поскольку публикация процесса через [интерфейс Web-сервиса](#) делает его доступным для непредсказуемого и потенциально очень большого числа клиентов. Как следствие, разработчик процесса сталкивается со сложным вопросом [выделения ресурсов](#). Определение оптимальной конфигурации распределённого ядра, выполняющего процесс, становится чувствительным как к фактическому числу клиентов, так и к типам выполняемых процессов. Выделение ресурсов для бизнес-процессов программного обеспечения может быть решено с помощью методов [автономных вычислений](#). Подсистема разделяет выполнение на два этапа (навигация и диспетчеризация) и использует контроллер для выделения узла кластера компьютеров для каждого из этих этапов по мере изменения рабочей нагрузки. [Контроллер может](#) быть настроен с помощью различных политик, определяющих способ перенастройки системы. Чтобы доказать осуществимость концепции, внедряется автономный контроллер и оценивается его производительность с помощью обширного набора экспериментов[23].

Большинство моделей процессов концентрируются на том, кто, что, когда делает, т.е. на описании оперативного выполнения задач. Подходы, ориентированные на достижение цели, пытаются установить тесную взаимосвязь между «почему» и «что». Первый отражает стратегические цели организации, в то время как второй рассказывает нам о том, как они достигаются с помощью задач, выполняемых субъектами. Кроме того, менеджеры, естественно, не делают различия между тем, чего достичь (цель), и способом ее достижения (стратегия). Эта путаница часто приводит к выражению манер как целей. Для того, чтобы прояснить фундаментальное различие между этими двумя проблемами и разобраться со сложностью

моделирования процессов, в данной статье предпринята попытка предложить целевую перспективу, подход к моделированию процессов на основе карт.

Система представления карт соответствует моделям целей в том смысле, что она признает концепцию цели, но отходит от нее, вводя понятие стратегии достижения цели. Бизнес и поддерживающая его система меняются одновременно. Для того, чтобы способствовать распространению преднамеренных изменений на операционные, принимается двухуровневую иерархическую спиральную модель процесса. Интенциональная спираль связана с созданием моделей бизнес-процессов с использованием картографического формализма, а операционная — со спецификациями поддерживающих систем. Бизнес-процесс определяется с точки зрения целей и стратегий достижения этих целей. Такой подход позволяет выбрать подходящий уровень детализации при анализе и перепроектировании бизнес-процессов [24].

В последнее время информационные системы стали ориентироваться не только на данные, но и на процессы. Чтобы информационная система предприятия работала эффективно, необходимо хорошо понимать бизнес-процессы и их организационный контекст.

Управление бизнес-процессами (BPM) — это набор методов, техник и инструментов, которые помогают разрабатывать, внедрять, управлять и анализировать операционные бизнес-процессы. BPM можно рассматривать как расширение классических систем и подходов к управлению рабочими процессами (WFM).

Для моделирования и анализа рабочих процессов используются сети Петри. Они помогают понять, как работают процессы и используются как формальная основа для обсуждения современных систем, языков и стандартов BPM и WFM.

Хотя сети Петри могут быть надёжной основой для технологии BPM/WFM, системы, языки и стандарты разрабатываются с учётом конкретных потребностей и условий.

Чтобы проиллюстрировать этот подход, был проведён анализ XPDL, предложенного Коалицией по управлению рабочими процессами (WfMC). В ходе анализа был использован набор из 20 основных шаблонов рабочих процессов. Анализ выявил некоторые типичные семантические проблемы, которые ограничивают применение технологии BPM/WFM [25].

В целях оптимизации работы компании был использован процессный подход к управлению.

Для оптимизации работы сотрудников компании был предложен метод автоматизации процессов с использованием языка программирования

Visual Basic for Application и программного обеспечения Business Studio для моделирования бизнес-процессов, а также для сбора и анализа показателей.

Были объединены две программы: Microsoft Excel и Business Studio.

На основе реальных данных, полученных в результате опроса сотрудников отделов проектирования и управления качеством, был проведён анализ и разработаны меры по оптимизации информационно-аналитического обеспечения компании.

Для автоматизации процессов были изучены международные и государственные стандарты системы менеджмента качества, а также внутренние локальные стандарты компании. Были применены новейшие технологии для улучшения системы менеджмента качества компании. Был разработан план как упростить и автоматизировать основные бизнес-процессы компании на основе ключевых задач, поставленных руководством [26].

Для автоматизации бизнес-процессов используется и с помощью RPA (Robotic Process Automation). RPA — это программное решение, которое позволяет автоматизировать бизнес-процессы на основе заранее определённых правил. Она работает по определённым правилам и может выполнять повторяющиеся элементарные задачи.

Применение RPA даёт множество преимуществ, таких как повышение производительности, снижение затрат, ускорение работы и уменьшение количества ошибок.

Большинство приложений RPA используются в бизнес-процессах бэк-офиса, где клиент не участвует напрямую. Поэтому было проведено исследование на примере поставщика услуг аутсорсинга бизнес-процессов, чтобы оценить преимущества и результаты применения RPA в бизнес-процессе обслуживания с участием фронт- и бэк-офиса.

Результаты показали, что основным преимуществом RPA является повышение производительности, но не удалось сократить время обработки данных [27].

В последнее время в бизнесе используются и программы по управлению персоналом - HR-системы. Они помогают управлять структурой организации, хранить информацию о каждом сотруднике, разрабатывать стратегии развития персонала на индивидуальном, групповом и командном уровне, а также управлять коммерческими организациями и современными транснациональными корпорациями с учётом бизнес-целей предприятия.

Такие системы значительно упрощают работу с документами и создают базу данных, в которой будет храниться вся информация [28].

Для объединения разных систем в организации используются интегрированные корпоративные информационные системы (EWS) — это настраиваемые пакетные бизнес-приложения, которые заменили устаревшие

разрозненные системы в организациях по всему миру. EWS стали катализатором перепроектирования бизнес-процессов для автоматизации и достижения максимального эффекта производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности, что привело к преобразованию всей организации в большинстве отраслей.

Для планирования ресурсов предприятия, ускорения процессов, которые ведутся в бизнесе, используется программный продукт ERP (enterprise resource planning).

ERP считается развитием более ранней системы планирования производства, называемой планированием производственных ресурсов (MRPII). В то время как MRPII был сосредоточен на заводе, ERP включает в себя функциональность всего предприятия и поэтому используется практически во всех отраслях промышленности. Широко в бизнесе применяются и CRM и SCM — это программы, которые помогают управлять отношениями с клиентами и цепочками поставок. Два других связанных с этим явления — это управление взаимоотношениями с клиентами (CRM) и управление цепочками поставок (SCM) [29].

Будущее автоматизации будет обеспечено появлением Интернета вещей. Эта технология позволит управлять огромным количеством устройств на предприятии, подключённых к интернету.

Интегрированная архитектура устройств оптимизирует производительность на всех уровнях предприятия.

Благодаря комбинации устройств и сетей, информация может быть интегрирована по всему предприятию. Это обеспечивает взаимодействие устройств, подключённых к сетям и подсистемам предприятия.

Инновации, основанные на Интернете вещей, позволят решить важные проблемы в отрасли и создать новые ценности:

Отслеживание поведения: наблюдение за людьми и вещами во времени и пространстве.

Повышение ситуационной осведомлённости: достижение осведомлённости об активе в режиме реального времени в географически удалённом месте.

Централизованная аналитика принятия решений: подключение людей к глобальной информации и анализу лучших практик. Это позволяет людям принимать правильные и быстрые решения, используя визуализацию больших данных и глубокий анализ [30].

Обсуждение

В данной статье проанализированы последние тенденции и тренды в области автоматизации бизнес-процессов малого и среднего бизнеса. Рассмотрены достижения машинного интеллекта, роботизированной

автоматизации в бизнес-процессах, использование облачной платформы Azure на предприятиях, использование блокчейн, Big Data. Рассмотрены такие технологии, как e-CRM, умное производство, профилактическое обслуживание, IIoT, CRM, SCM, технологии Enterprise Resource Planning, Robotic Process Automation, Интегрированные корпоративные информационные системы (EWS).

Заключение.

Перспективным направлением в автоматизации бизнес-процессов можно считать использование облачных технологий для реализации своих бизнес-проектов, создание децентрализованных блокчейн-приложений для конкретных предприятий, интегрированное использование Enterprise Resource Planning систем позволит выйти на новый уровень автоматизации бизнес-процессов малого и среднего бизнеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Tathagata Ch., Vatche I, Khalaf R., Khazaeni Y, Muthusamy V, Rizk Y, Unuvar M.** From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation: Emerging Trends. [Business Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum, First Online: 03 September 2020](#). Part of the [Lecture Notes in Business Information Processing](#) book series (LNBI, volume 393)

2 **Liisa S., Jounela J.** Future trends in process automation. [Annual Reviews in Control, Volume 31, Issue 2](#), 2007, P. 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.08.003>

3 **Scheer A, Abolhassan F, Jost W, Kirchmer M.** Business Process Automation. ARIS in Practice. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-540-24702-9>

4 **Marrella A.** Automated Planning for Business Process Management. [Published: 01 November 2018](#). volume 8, P. 79–98 (2019)

5 **Samad T, McLaughlin P, Lu J.** System architecture for process automation: Review and trends. [Journal of Process Control, Volume 17, Issue 3](#), March 2007, P. 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2006.10.010>

6 **Adlin F, Ferdiana R., Fauziati S.** Current Trend and Literature on Electronic CRM Adoption Review. Published under licence by IOP Publishing Ltd. [Journal of Physics: Conference Series, Volume 1201, International Conference on Electronics Representation and Algorithm \(ICERA 2019\) 29–30 January 2019, Yogyakarta, Indonesia](#). DOI 10.1088/1742-6596/1201/1/012058

7 **Wahlberg O, Strandberg C., Sundberg H., Sandberg Karl W.** Trends, Topics and Under-Researched Areas in CRM Research: A Literature Review. 2009 In: International Journal of Public Information Systems, ISSN 1653–4360, Vol. 3, P. 191–208

8 **Kraus N, Kraus K.** Digitalization of business processes of enterprises of the ecosystem of Industry 4.0: virtual-real aspect of economic growth reserves (2021) Digitalization of business processes of enterprises of the ecosystem of Industry 4.0: virtual-real aspect of economic growth reserves WSEAS Transactions on Business and Economics, 18. P. 569–580. ISSN 2224-2899

9 **Абдрахманова, Г. И., Вишневецкий, К. О., Гохберг, Л. М.** (2019). Индикаторы цифровой экономики 2019: статистический сборник. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Москва НИУ ВШЭ. <https://www.hse.ru/data/2019/06/25/1490054019/ice2019.pdf>

10 **Aishvaria S., Malik K.** Neuromarketing and neuroethics is an emerging field for assessing consumers' emotional reactions to marketing incentives. Int. J. of Innovat. Res. in Manag. IJIRMS, 1(12), 27–30.

11 **Коновалова М. Е., Фомин Е.** (2018). Особенности развития предпринимательского сектора в условиях формирования цифровой модели экономики. Вопросы экономики и права, 11(125), 51–53.

12 **Плотников, В. А.** (2018). Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике. Бюк. Санкт-Петербургского государственного университета. Экон., 16–24.

13 **Никитина, Л. Л., Гаврилова, О. Е.** (2015). Перспективы применения современной 3D-печати в производстве изделий легкой промышленности из полимерных материалов. Бюк. Technol. Univer., 18(7), 224–226.

14 **Бунтова О. Г., Федулов С. В.** (2007). Введение в планирование ресурсов предприятия. SAP, «Галактика ERP». Уральский государство. Универ. им. А. М. Горького.

15 **Denner M, Püschel L., Röglinge M.** How to Exploit the Digitalization Potential of Business Processes, 08 December 2017, volume 60, P. 331–349

16 **Ryan K.L. Ko, Stephen S.G. Lee, Eng Wah Lee.** Business process management (BPM) standards: a survey. [Business Process Management Journal](https://doi.org/10.1016/j.bpm.2009.09.001). ISSN: 1463-7154. 11 September 2009

17 **Edward F. Watson III, Andrew H. Schwarz** Enterprise and Business Process Automation. 17 June 2023. Part of the [Springer Handbooks](https://doi.org/10.1016/j.sshb.2023.06.001) book series (SHB), [Springer Handbook of Automation](https://doi.org/10.1016/j.sshb.2023.06.001) P. 1385–1400

18 Minder Chen a, Dongsong Zhang b, Lina Zhou b. Empowering collaborative commerce with Web services enabled business process management systems. [Decision Support Systems](https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.014). Volume 43, Issue 2, March 2007, Pages 530-546. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.014> Get rights and content

19 **Marjanovic O.** The Next Stage of Operational Business Intelligence: Creating New Challenges for Business Process Management. 2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)

20 **Ouyangm C, Dumas M, Wil M. P. van der Aalst, Arthur H. M. Ter, Mendling H.** From business process models to process-oriented software systems. [ACM Transactions on Software Engineering and Methodology](https://doi.org/10.1145/1555392.1555395). Volume 19 Issue 1 Article No.: 2 P. 1–37 <https://doi.org/10.1145/1555392.1555395>

21 **Smith H.** Business process management—the third wave: business process modelling language (bpml) and its pi-calculus foundations. [Information and Software Technology](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(03)00135-6). Volume 45, Issue 15, 1 December 2003, P. 1065-1069. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(03\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(03)00135-6)

22 **Sue K., Christopher H., Ben L.** [Enterprise Resource Planning: A Business Approach To Systems Development](https://aisel.aisnet.org/amcis1999/271). AMCIS 1999 Proceedings. 271. <https://aisel.aisnet.org/amcis1999/271>

23 **Pautasso C, Heinis T, Alonso G.** Autonomic resource provisioning for software business processes. [Information and Software Technology](https://doi.org/10.1016/j.infsof.2006.08.010). Volume 49, Issue 1, January 2007, P. 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2006.08.010>

24 **Nurcan S, Etien A, Kaabi R, Zoukar I, Rolland C.** A strategy driven business process modelling approach. [Business Process Management Journal](https://doi.org/10.1016/j.bpm.2005.12.001). ISSN: 1463-7154. 1 December 2005

25 **Wil M. P.** Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management. Part of the [Lecture Notes in Computer Science](https://doi.org/10.1016/j.lncs.2009.09.001) book series (LNCS, volume 3098). P. 1–65

26 **Babkin A., Kuzmina S., Opleznina A., Kozlov A.** Selection of Tools of Automation of Business Processes of a Manufacturing Enterprise. 2019 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). 23–27 September 2019

27 **Aguirre S., Rodriguez A.** Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA) : A Case Study. Part of the [Communications in Computer and Information Science](https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.08.001) book series (CCIS, volume 742), 29 August 2017

28 **Velikorosov V. V., Filin S. A., Genkin E. V., Maksimov M. I., Krasilnikova M. A., Rakauskijene O. G.** HR Systems as a New Method for the Automatization of Business Processes in Organization. 2020 2nd International Conference on Pedagogy, Communication and Sociology (ICPCS 2020) ISBN: 978-1-60595-663-3.

29 **Watson E.F., Holmes K.** Business Process Automation. Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_90

30 **Sasajima H, Ishikuma T., Hayashi Y.** Future IIOT in Process Automation - Latest trends of standardization in industrial automation, IEC/TC65 - IEC TC65 Japanese National Committee, JEMIMA

REFERENCES

- 1 **Tathagata Ch., Vatche I, Khalaf R., Khazaeni Y, Muthusamy V, Rizk Y, Unuvar M.** From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation: Emerging Trends. *Business Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum*, First Online: 03 September 2020. Part of the Lecture Notes in Business Information Processing book series (LNBIP, volume 393)
- 2 **Liisa S., Jounela J.** Future trends in process automation. *Annual Reviews in Control*. Volume 31, Issue 2, 2007, P. 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.08.003>
- 3 **Scheer A, Abolhassan F, Jost W, Kirchmer M.** Business Process Automation. *ARIS in Practice*. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-540-24702-9>
- 4 **Marrella A.** Automated Planning for Business Process Management. Published: 01 November 2018. volume 8, P. 79–98 (2019)
- 5 **Samad T, McLaughlin P, Lu J.** System architecture for process automation: Review and trends. *Journal of Process Control*. Volume 17, Issue 3, March 2007, Pages 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2006.10.010>
- 6 **Adlin F, Ferdiana R., Fauziati S.** Current Trend and Literature on Electronic CRM Adoption Review. Published under licence by IOP Publishing Ltd. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1201, International Conference on Electronics Representation and Algorithm (ICERA 2019) 29–30 January 2019, Yogyakarta, Indonesia*. DOI 10.1088/1742-6596/1201/1/012058
- 7 **Wahlberg O, Strandberg C., Sundberg H., Sandberg Karl W.** Trends, Topics and Under-Researched Areas in CRM Research: A Literature Review. 2009 In: *International Journal of Public Information Systems*, ISSN 1653-4360, Vol. 3 – P. 191-208
- 8 **Kraus N, Kraus K.** Digitalization of business processes of enterprises of the ecosystem of Industry 4.0: virtual-real aspect of economic growth reserves (2021) Digitalization of business processes of enterprises of the ecosystem of Industry 4.0: virtual-real aspect of economic growth reserves *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 18. P. 569–580. ISSN 2224-2899
- 9 **Abdrahmanova, G. I., Vishnevskij, K. O., Gohberg, L. M.** (2019). Indikatory cifrovoj jekonomiki 2019: statisticheskij sbornik. Nacional'nyj issledovatel'skij universitet «Vysshaja shkola jekonomiki». Moskva NIU VShJe. <https://www.hse.ru/data/2019/06/25/1490054019/ice2019.pdf>
- 10 **Aishvaria S., Malik K.** Neuromarketing and neuroethics is an emerging field for assessing consumers' emotional reactions to marketing incentives. *Int. J. of Innovat. Res. in Manag. IJIRMS*, 1(12), 27–30.

- 11 **Konovalova M. E., Fomin E.** (2018). Osobennosti razvitija predprinimatel'skogo sektora v uslovijah formirovanija cifrovoj modeli jekonomiki. *Voprosy jekonomiki i prava*, 11(125), 51–53.
- 12 **Plotnikov, V. A.** (2018). Cifrovizacija proizvodstva: teoreticheskaja sushhnost' i perspektivy razvitija v rossijskoj jekonomike. *Byk. Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekon.*, 16–24.
- 13 **Nikitina, L. L., Gavrilova, O. E.** (2015). Perspektivy primeneniya sovremennoj 3D-pechati v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti iz polimernyh materialov. *Byk. Technol. Univer.*, 18 (7), 224–226.
- 14 **Buntova O. G., Fedulov S. V.** (2007). Vvedenie v planirovanie resursov predpriyatija. SAP, «Galaktika ERP». Ural'skij gosudarstvo. Univer. im. A.M. Gor'kogo.
- 15 **Denner M, Püschel L., Röglinge M.** How t How to Exploit the Digitalization Potential of Business Processes, 08 December 2017, volume 60. P. 331–349
- 16 **Ryan K.L. Ko, Stephen S.G. Lee, Eng Wah Lee.** Business process management (BPM) standards: a survey. *Business Process Management Journal*. ISSN: 1463-7154. 11 September 2009
- 17 **Edward F. Watson III, Andrew H. Schwarz** Enterprise and Business Process Automation. 17 June 2023. Part of the Springer Handbooks book series (SHB), Springer Handbook of Automation pp 1385–1400
- 18 Minder Chen a, Dongsong Zhang b, Lina Zhou b. Empowering collaborative commerce with Web services enabled business process management systems. *Decision Support Systems*. Volume 43, Issue 2, March 2007. – P. 530–546. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.014> [Get rights and content](#)
- 19 **Marjanovic O.** The Next Stage of Operational Business Intelligence: Creating New Challenges for Business Process Management. 2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)
- 20 **Ouyangm C, Dumas M, Wil M. P. van der Aalst, Arthur H. M. Ter, Mendling H.** From business process models to process-oriented software systems. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. Volume 19 Issue 1 Article No.: 2 P. 1–37 <https://doi.org/10.1145/1555392.1555395>
- 21 Smith H. Business process management—the third wave: business process modelling language (bpml) and its pi-calculus foundations. *Information and Software Technology*. Volume 45, Issue 15, 1 December 2003. P. 1065–1069. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(03\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(03)00135-6)
- 22 **Sue K., Christopher H., Ben L.** Enterprise Resource Planning: A Business Approach To Systems Development. *AMCIS 1999 Proceedings*. 271. <https://aisel.aisnet.org/amcis1999/271>

23 **Pautasso C, Heinis T, Alonso G.** Autonomic resource provisioning for software business processes. *Information and Software Technology*. Volume 49, Issue 1, January 2007, P. 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2006.08.010>

24 **Nurcan S, Etien A, Kaabi R, Zoukar I, Rolland C. A.** strategy driven business process modelling approach. *Business Process Management Journal*. ISSN: 1463-7154. 1 December 2005

25 **Wil, M. P.** Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management. Part of the [Lecture Notes in Computer Science](#) book series (LNCS, volume 3098). P. 1–65

26 **Babkin A., Kuzmina S., Oplesnina A., Kozlov A.** Selection of Tools of Automation of Business Processes of a Manufacturing Enterprise. [2019 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» \(IT&QM&IS\)](#). 23–27 September 2019

27 **Aguirre S., Rodriguez A.** Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA): A Case Study. Part of the [Communications in Computer and Information Science](#) book series (CCIS, volume 742), [29 August 2017](#)

28 **Velikorosov V. V., Filin S. A., Genkin E. V., Maksimov M. I., Krasilnikova M. A., Rakauskiyene O. G.** HR Systems as a New Method for the Automatization of Business Processes in Organization. 2020 2nd International Conference on Pedagogy, Communication and Sociology (ICPCS 2020) ISBN: 978-1-60595-663-3.

29 **Watson E.F., Holmes K.** Business Process Automation. Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_90

30 **Sasajima H, Ishikuma T, Hayashi Y.** Future IIOT in Process Automation - Latest trends of standardization in industrial automation, IEC/TC65 - IEC TC65 Japanese National Committee, JEMIMA

Поступило в редакцию 11.11.24
Поступило с исправлениями 02.12.24
Принято в печать 04.12.24

*А. Д. Золотов¹, А. С. Бидахметов², Е. А*Оспанов³,
Бекбаева Р. С.⁴, Муханбеткалиева А. К⁵*

^{1,2,3,4}Шәкәрім атындағы университет, Қазақстан Республикасы, Семей қ.,

⁵Л. Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университет,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

11.11.24 ж. баспаға түсті.

02.12.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУДАҒЫ ТРЕНДТЕРГЕ ШОЛУ

Бұл мақалада шағын және орта бизнестің бизнес-процестерін автоматтандыру саласындағы соңғы үрдістер мен трендтер талданады. Машиналық интеллекттің жетістіктері, бизнес-процестердегі роботты автоматтандыру, кәсіпорындарда Azure бұлтты платформасын пайдалану, blockchain, Big Data пайдалану қарастырылады. Срт, ақылды өндіріс, профилактикалық қызмет көрсету, It, CRM, SCM, Enterprise Resource Planning технологиялары, Robotic Process Automation, интеграцияланған корпоративтік ақпараттық жүйелер (EwIS) сияқты технологиялар қарастырылған.

Кілтті сөздер: бизнес-процестерді автоматтандыру, CRM, SCM, Enterprise Resource Planning, Robotic Process Automation технологиялары, интеграцияланған корпоративтік ақпараттық жүйелер (EwIS)

*A. D Zolotov¹, A. S Bidakhmetov², *E. A Ospanov³, R. S Bekbayeva⁴,
A. K Mukhanbetkaliyeva⁵*

^{1,2,3,4}Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey

⁵«Eurasian National University named after L. N. Gumilyov,
Republic of Kazakhstan, Astana

Received 11.11.24

Received in revised form 02.12.24

Accepted for publication 04.12.24

OVERVIEW OF TRENDS IN BUSINESS PROCESS AUTOMATION

This article analyzes the latest trends and trends in the field of automation of business processes of small and medium-sized businesses.

The achievements of machine intelligence, robotic automation in business processes, the use of the Azure cloud platform in enterprises, the use of blockchain, Big Data are considered. Technologies such as crm, smart manufacturing, preventive maintenance, It, CRM, SCM, Enterprise Resource Planning technologies, Robotic Process Automation, integrated corporate information systems (EwIS) are considered.

Key words: automation of business processes, CRM, SCM, Enterprise Resource Planning technologies, Robotic Process Automation, Integrated Corporate Information Systems (EwIS).

МРНТИ 45.43.01

<https://doi.org/10.48081/KGCJ7730>

Д. Г. Инсепов*

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7098-4824>

*e-mail: insepov_dauren83@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ НЕФТЕПРОВОДОВ

В данной статье представлен углубленный анализ роли преобразователей частоты в процессе индукционного нагрева, в частности, в контексте нагрева нефтепроводов. Индукционный нагрев - это процесс, использующий электромагнитные принципы для выработки тепла, - необходим для поддержания текучести нефти, особенно в холодных регионах, что обеспечивает бесперебойную и эффективную транспортировку нефти по трубопроводам. Эффективность этого процесса во многом зависит от частоты используемого переменного тока, которая регулируется преобразователями частоты. Частотные преобразователи, представляют собой электротехническое оборудование, предназначенное для регулирования частоты переменного напряжения, что позволяет изменять частоту вращения и крутящий момент электрических машин асинхронного типа. В статье предлагается комплексное теоретическое и аналитическое исследование влияния и значения преобразователей частоты в системах индукционного нагрева. В данной статье также подчеркиваются преимущества и потенциальные проблемы, которые связаны с использованием преобразователей частоты, и определяются потенциальные области для будущих исследований. Таким образом, данное исследование подчеркивает решающую роль преобразователей частоты в индукционном нагреве нефтепроводов, а также признает их потенциальные недостатки и области, которые требуют дальнейшего улучшения.

Ключевые слова: индукционный нагрев, преобразователи частоты, нефтепровод, переменный ток, энергоэффективность.

Введение

Индукционный нагрев, процесс, использующий принципы электромагнетизма для выработки тепла, изменил правила игры в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовый сектор. Среди множества применений этой технологии выделяется обогрев нефтепроводов. Этот процесс имеет решающее значение для поддержания текучести масла, особенно в холодных регионах, и предотвращения потенциальных закупорок.

Однако эффективность индукционного нагрева во многом зависит от частоты используемого переменного тока. Здесь в игру вступают преобразователи частоты. Эти устройства могут регулировать частоту электропитания в соответствии с требованиями системы индукционного нагрева.

Несмотря на важнейшую роль преобразователей частоты в индукционном нагреве нефтепроводов, комплексных исследований по этой теме недостаточно. Данная статья призвана восполнить этот пробел, предоставив подробный обзор использования преобразователей частоты для этой цели. Обзор углубится в технические аспекты, обсудит преимущества и проблемы, а также изучит потенциальные области для будущих исследований. Этот обзор является своевременным и актуальным, учитывая растущую зависимость от индукционного нагрева в нефтегазовой отрасли и постоянный поиск эффективности и устойчивости в использовании энергии.

Материалы и методы

Статья представляет собой комплексное теоретическое и аналитическое исследование, в котором фундаментальные физики, электротехники и термодинамики используются для изучения роли и влияния преобразователей частоты в системах индукционного нагрева, особенно в контексте нагрева нефтепроводов.

Методология исследования основана на строгом научном подходе. Автор использует математическое моделирование как ключевой инструмент для выяснения основных принципов индукционного нагрева.

В статье подробно рассматривается роль преобразователей частоты в этом процессе. Приведен подробный анализ того, как эти устройства, изменяя частоту переменного тока, могут управлять глубиной проникновения тепла и скоростью нагрева, оптимизируя тем самым процесс индукционного нагрева.

Кроме того, автор проведен анализ потенциальных преимуществ и недостатков использования преобразователей частоты в системах индукционного нагрева. Это предполагает критическую оценку таких факторов, как энергоэффективность, точность управления, стоимость и потенциальные технические проблемы. Автор сочетает теоретические прогнозы с практическими соображениями, предоставляя целостное

представление о применении преобразователей частоты в индукционном нагреве.

Результаты и обсуждения

Индукционный нагрев – это процесс, используемый для нагрева проводящего объекта. Это достигается за счет создания переменного магнитного поля вокруг объекта, которое индуцирует внутри него электрический ток. Ток, генерируемый внутри объекта, встречает сопротивление, что приводит к выделению тепла [1].

Принцип индукционного нагрева основан на законе электромагнитной индукции Фарадея, показывающий, что изменение магнитной среды катушки с проводом приводит к «индуцированию» напряжения (ЭДС) в катушке [2].

$$E = - d\Phi_B/dt \quad (1)$$

где:

E – электродвижущая сила (ЭДС) или «индуцированное» напряжение,

Φ_B – магнитный поток через цепь

dt – изменение во времени.

Знак минус указывает на то, что индуцированная ЭДС (E) и изменение магнитного потока ($d\Phi_B$) направлены в противоположные стороны. Это известно как закон Ленца, который гласит, что индуцированная ЭДС всегда будет противодействовать изменению магнитного потока, вызвавшему ее.

В контексте индукционного нагрева переменный ток (AC) в катушке создает изменяющееся магнитное поле. Это изменяющееся магнитное поле индуцирует напряжение в проводящем объекте (согласно закону Фарадея), которое, в свою очередь, генерирует электрический ток внутри объекта. Сопротивление этому току генерирует тепло, которое используется для нагрева объекта.

Для работы индукционных нагревателей не требуется непосредственного контакта источника энергии с нагреваемым объектом, а необходимо только наличие магнитной связи между объектом и индуктором. Схема индукционного нагрева показана на рисунке 1[3].

Рассмотрим, как этот принцип применяется при обогреве нефтепроводов. Нефтепроводы часто расположены в чрезвычайно холодных условиях. В таких условиях вязкость масла увеличивается, что затрудняет его течение. Поэтому трубопроводы нагревают. Соответственно вязкость нефти становится меньше и ее течение по нефтепроводу становится легче.

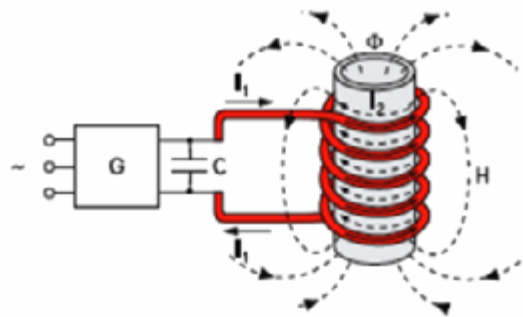


Рисунок 1 - Схема индукционного нагрева

Индукционный нагрев - это нагревание материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем. В данном процессе электрический ток создается в материале, в котором генерация тепла происходит благодаря сопротивлению материала. Такой метод достаточно часто применим в металлургической промышленности, обрабатывающем производстве и других областях. Его применяют в Китае, России, США и других странах [4].

Одну из ведущих позиций в процессе индукционного нагрева нефтепроводов занимают частотные преобразователи.

Формула 2 показывает расчет синхронной скорости преобразователя частоты [5]:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2)$$

где: N – синхронная скорость двигателя в оборотах в минуту (об/мин);

f – частота источника питания в герцах (Гц);

P – количество полюсов двигателя.

Управление преобразователем частоты выполняется при помощи микропроцессора. Он осуществляет контроль частоты и напряжения.

К основным плюсам применения частотных преобразователей можно отнести продление службы оборудования вследствие снижения нагрузок, уменьшение затрат, связанных с электроэнергией.

При рассмотрении частотных преобразователей индукционного нагрева необходимо учитывать такие принципы, как скин-эффект.

Скин-эффект – это эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн в зависимости от степени их проникновения внутрь среды проводника.

То есть, из-за скин-эффекта, ток протекает у поверхности проводника, и уменьшается к его центру. Это означает, что с увеличением частоты глубина скин-слоя становится меньше, и это приводит к более насыщенному нагреву у поверхности материала.

Частота может оказывать достаточно сильное влияние и на плотность мощности, являющейся количеством энергии, которая передается на единицу площади. Таким образом, чем выше частота, тем выше плотность мощности и, следовательно, тем больше тепла выделяется.

Математическое уравнение (формула 3), которое представляет тепло (Q), выделяемое при индукционном нагреве через преобразователь частоты [6]:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot I^2 \cdot f \cdot \mu \cdot r^2 \cdot \sigma \quad (3)$$

где: I – ток через катушку;

f – частота переменного тока;

μ – магнитная проницаемость материала;

r – радиус катушки;

σ – электропроводность материала.

Данное уравнение показывает, что тепловая мощность имеет прямую корреляцию с квадратом тока (I^2), частотой переменного тока (f), магнитной проницаемостью вещества (μ), квадратом радиуса катушки (r^2), и электропроводность вещества (σ). На рисунке 2 представлена связь между индукционным нагревом (Q) и частотой преобразователя частоты (f).

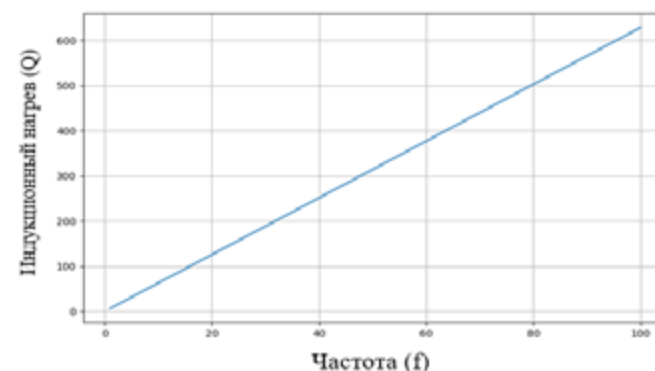


Рисунок 2 – Зависимость индукционного нагрева от частоты

Из представленного рисунка 2 видно, что увеличение частоты связано с увеличением тепловой мощности, что показывает прямую связь между этими

двумя параметрами. Этот вывод согласуется с уравнением индукционного нагрева, которое утверждает, что нагрев прямо пропорционален частоте переменного тока.

Преобразователи частоты играют решающую роль в индукционном нагреве нефтепроводов. Вот некоторые из ключевых преимуществ [7]:

– Преобразователи частоты отличаются высокой энергоэффективностью. Они преобразуют частоту источника питания в нужную частоту для процесса индукционного нагрева. Такое преобразование позволяет системе использовать только то количество энергии, которое необходимо для процесса нагрева, сокращая потери энергии.

– Преобразователи частоты обеспечивают точный контроль над процессом нагрева. Регулируя частоту, операторы могут контролировать глубину проникновения тепла и скорость нагрева. Эта точность имеет решающее значение в таких приложениях, как обогрев нефтепроводов, где поддержание температуры необходимо для снижения вязкости масла и обеспечения плавного потока.

– Преобразователи частоты обеспечивают гибкость с точки зрения выходной мощности и диапазона частот. Это позволяет адаптировать систему индукционного нагрева к конкретным требованиям.

– Повышая энергоэффективность и улучшая производительность процессов, преобразователи частоты могут значительно снизить эксплуатационные расходы. Это особенно выгодно в контексте эксплуатации нефтепроводов, где расходы на энергию могут составлять значительную часть общих эксплуатационных расходов.

– Точное управление, обеспечиваемое преобразователями частоты, может привести к улучшению качества продукции. В частности, для нефтепроводов это может означать более стабильную температуру и скорость потока нефти, что может привести к снижению эксплуатационных осложнений и увеличению общей производительности.

– Преобразователи частоты также могут способствовать продлению срока службы оборудования индукционного нагрева. Обеспечивая точное управление и эффективную работу, они могут снизить износ оборудования, увеличить срок его службы и снизить затраты на техническое обслуживание.

Поэтому включение преобразователей частоты в процесс индукционного нагрева имеет множество преимуществ, что делает его важным элементом обогрева нефтепровода.

Одними из важнейших преимуществ частотных преобразователей экономия энергии (ЭЕ) и увеличение срока службы у нефтепроводов.

$$\text{ЭЕ} = [(E_{\text{с без ин}} - E_{\text{с ин}}) / E_{\text{с без ин}}] \times 100 \quad (4)$$

где: $E_{\text{с без ин}}$ - Энергопотребление без индукционного нагрева в качестве исходного уровня составляет 100%

$E_{\text{с ин}}$ - Энергопотребление с индукционным нагревом примем 40%, исходя из среднестатистического значения среднего снижения энергии от 30 % до 50 %.

Соответственно:

$$\text{ЭЕ} = [(100 - 40) / 100] \times 100 = 60\%$$

Экономия энергии с применением частотного преобразователя составляет около 60%. Например, если электродвигатель потребляет 100 кВт, то с помощью частотного преобразователя его потребление снижается до 60 кВт.

Далее рассмотрим упрощенный расчет экономической эффективности применения частотных преобразователей. Предположим, что электродвигатель потребляет 100 кВт без преобразователя частоты и 60 кВт с преобразователем частоты. Цена электроэнергии – 80,92 тг за 1 кВтч. Работа двигателя осуществляется 365 дней в году, по 24 ч в сутки. Первоначальные инвестиции в преобразователь частоты составляет 2200 тыс тг. Ежегодную экономию ($E_{\text{э год}}$, тг энергии) рассчитаем по формуле 5:

$$E_{\text{э год}} = (P_{\text{без пч}} - P_{\text{с пч}}) \cdot C_{\text{э}} \cdot t \quad (5)$$

где: $P_{\text{без пч}}$ – мощность без преобразователя частоты, Вт;

$P_{\text{с пч}}$ – мощность с преобразователем частоты, Вт;

$C_{\text{э}}$ – цена электроэнергии, тг;

t – часы работы в год, ч.

$$E_{\text{э год}} = (P_{\text{без пч}} - P_{\text{с пч}}) \cdot C_{\text{э}} \cdot t$$

Рассчитаем срок ($T_{\text{ок}}$) окупаемости частотного преобразователя по формуле 6:

$$T_{\text{ок}} = \frac{E_{\text{э год}}}{K} \quad (6)$$

где: K – начальные инвестиции.

$$T_{ок} = \frac{28354}{2200} = 12 \text{ мес}$$

Таким образом, срок окупаемости частотного преобразователя составит 1 год.

Частотные преобразователи несмотря на то, что имеют положительный эффект на обогрев нефтепроводов, могут создавать потенциальные проблемы и трудности [8], представленные на рисунке 3.



Рисунок 3 – Основные проблемы, связанные с применением частотных преобразователей

В области индукционного нагрева преобразователи частоты, для нагрева нефтепроводов, постоянно совершенствуются. Основные улучшения направлены на повышение энергоэффективности, более точное управление процессом нагрева и уменьшение габаритов и веса оборудования. Значительный прогресс был достигнут в снижении влияния электрических гармоник, повышении долговечности и надежности, а также обеспечении регулирования частоты [9].

Развитие области индукционного нагрева и будущие инновации в преобразователях частоты для нагрева нефтепроводов повысят энергоэффективность, улучшат методы управления, уменьшат гармонические помехи, поспособствуют уменьшению размера и веса оборудования, а также повышению его долговечности [10]. Поэтому изучение индукционного нагрева нефтепроводов с применением частотных преобразователей является перспективным направлением.

Выводы

В данной статье рассмотрена роль применения преобразователей частоты для индукционного нагрева нефтепроводов, а также определены основные преимущества преобразователей частоты и рассмотрены основные недостатки, связанные с их применением. Ожидается, что будущие исследования будут сосредоточены на улучшении производительности, систем управления и долговечности, а также на снижении воздействия электрических гармоник. Это важно для поддержания потока нефти в нефтепроводах, особенно в холодных регионах Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Колмаков, Ю. В.** Индукционный нагрев // Электротехнология. Электронный учебно-методический комплекс. [Электронный ресурс]. – http://www.kgau.ru/distance/etf_01/kolmakov/eltechnology_eumk/lek3.htm

2 Электромагнитная индукция. [Электронный ресурс] – <https://markirovka.ru/vopros-otvet/электромагнитная-индукция-объяс-нен.html>

3 **Повный, А. К.** Принцип действия и области применения индукционного нагрева. [Электронный ресурс]. – <https://electricalschool.info/main/electrotehnolog/2266-princip-deystviya-i-oblasti-primeneniya-indukcionnogo-nagreva.html>

4 **Инсепов, Д. Г.** Высокочастотный индукционный нагрев нефтепровода [Текст] // Электрификация транспорту. – 2016. – №12. – С.103–106.

5 **Евсиков, А. А., Коковин, В. А., Леонов, А. П.** Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учеб. пособие [Текст] – Дубна: гос. ун-т «Дубна», 2020. – 121 с.

6 **Пентегов, И. В., Рымар, С.В.** Применение метода тепловых источников при учете распределения источников тепла при индукционном нагреве [Текст] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – Т. 12. – № 4. – С.5–12.

7 **Isembergenov, N.T., Sagyndikova, A.J., Konyrova, M. Zh.** Frequency Converter for Induction Heating Oil in Oil Pipelines [Text] // Wseas transactions on electronics. – 2021. – № 12. – P. 24–31.

8 **Иванов, В. О.** Исследование преобразователей частоты. Основные сведения. [Электронный ресурс] – <file:///C:/Users/user/Downloads/issledovanie-preobrazovateley-chastoty-osnovnye-svedeniya.pdf>

9 **Хлюпин, П. А.** Индукционная нагревательная система для нефтепроводов. [Электронный ресурс]. – https://docviewer.yandex.kz/view/0/?page=1&*=c7mbROa

10 **Akagi, H., Kanazawa, Y, Nabaе, A.** Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components [Electronic resource] https://ieeemilestones.ethw.org/w/ima-ges/0/0a/Akagi_reference

REFERENCES

1 **Kolmakov, Yu. V.** Induktsionnyy nagrev [Induction heating]// Elektrotekhnologiya. Elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks. [Electronic resource]. – http://www.kgau.ru/distance/etf_01/kolma-kov/eltehnologyeumk/lek3.htm

2 Electromagnitnaya induksiya [Electromagnetic induction] [Electronic resource]. – <https://markirovka.ru/voprosotvet/электро-магнитная-индукция-объяснен.html>

3 **Povnyy, A. K.** Printsip deystviya i oblasti primeneniya induktsionnogo nagreva [The principle of operation and areas of application of induction heating.] [Electronic resource]. – <https://electricalschool.in-fo/main/electrotehnolog/2266-princip-deystviya-i-oblasti-primeneniya-indukcionnogo-nagreva.html>

4 **Insepov, D. G.** Vysokochastotnyy induktsionnyy nagrev nefteprovoda [High frequency induction heating of oil pipeline] [Text] // Elektrofikatsiya transportu. – 2016. – №12. – P. 103–106.

5 **Evsikov, A. A., Kokovin, V. A., Leonov, A. P.** Avtomatizirovannyy elektroprivod s chastotnym upravleniem: ucheb. posobie [Automated electric drive with frequency control: tutorial] [Text]. – Dubna: gos. un-t «Dubna», 2020. – 121 p.

6 **Pentegov, I. V., Rymar, S. V.** Primenenie metoda teplovykh istochnikov pri uchete raspredeleniya istochnikov tepla pri induktsionnom nagreve [Application of the heat source method when taking into account the distribution of heat sources during induction heating] [Text] // Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. – 2016. – V. 12. – № 4. – P. 5–12.

7 **Isebergenov, N. T., Sagyndikova, A. J., Konyrova, M. Zh.** Frequency Converter for Induction Heating Oil in Oil Pipelines [Text] // Wseas transactions on electronics. – 2021. – № 12. – P.24–31.

8 **Ivanov, V. O.** Issledovanie preobrazovateley chastoty. osnovnye svedeniya [Research of frequency converters. Basic information.] [Electronic resource] – <file:///C:/Users/user/Downloads/issledovanie-preobrazovateley-chastoty-osnovnye-svedeniya.pdf>

9 **Hlyupin, P. A.** Induktsionnaya nagrevatel'naya sistema dlya nefteprovodov. [Induction heating system for oil pipelines] [Electronic resource] – https://docviewer.yandex.kz/view/0/?page=1&*=c7mbROa

10 **Akagi, H., Kanazawa, Y, Nabaе, A.** Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. [Electronic resource]. – https://ieeemilestones.ethw.org/w/ima-ges/0/0a/Akagi_reference

Поступило в редакцию 22.09.24

Поступило с исправлениями 15.10.24

Принято в печать 04.12.24

*Д. Г. Инсенов**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

22.09.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫН ИНДУКЦИЯЛЫҚ ЖЫЛЫТУДА ЖИІЛІКТІ ТҮРЛЕРДІРУШІЛЕРДІҢ РӨЛІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада индукциялық қыздыру процесіндегі жиілік түрлендіргіштерінің ролі, әсіресе мұнай құбырын жылыту контекстінде терең талдау қарастырылған. Индукциялық қыздыру, жылу алу үшін электромагниттік принциптерді пайдаланатын процесс, мұнайдың сұйықтығын сақтау үшін қажет, әсіресе суық аймақтарда мұнайды құбырлар арқылы біркелкі және тиімді тасымалдауға мүмкіндік береді. Бұл процестің тиімділігі көбінесе жиілікті түрлендіргіштермен реттелетін қолданылатын айнымалы токтың жиілігіне байланысты. Жиілік түрлендіргіштері – асинхронды типті электр машиналарының айналу жиілігін және айналу моментін өзгертуге мүмкіндік беретін айнымалы кернеудің жиілігін реттеуге арналған электр жабдығы. Мақалада индукциялық жылыту жүйелеріндегі жиілік түрлендіргіштерінің әсері мен маңыздылығын кеңенді теориялық және аналитикалық зерттеу ұсынылады. Бұл мақала сонымен қатар жиілік түрлендіргіштерін пайдаланумен байланысты артықшылықтар мен ықтимал проблемаларды көрсетеді және болашақ зерттеулердің әлеуетті бағыттарын анықтайды. Қорытындылай келе, бұл зерттеу мұнай құбырларын индукциялық жылытудағы жиілік түрлендіргіштерінің маңызды

ролін көрсетеді, сонымен бірге олардың ықтимал кемшіліктері мен одан әрі жетілдіруді қажет ететін аймақтарды мойындайды.

Кілтті сөздер: индукциялық қыздыру, жиілікті түрлендіргіштер, мұнай құбыры, айнымалы ток, энергия тиімділігі.

D. G. Insepov*

Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayeva, the Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 22.09.24

Received in revised form 15.10.24

Accepted for publication 04.12.24

STUDYING THE ROLE OF FREQUENCY CONVERTERS IN INDUCTION HEATING OF OIL PIPELINES

This article provides an in-depth analysis of the role of frequency converters in the induction heating process, particularly in the context of oil pipeline heating. Induction heating, a process that uses electromagnetic principles to generate heat, is necessary to maintain oil fluidity, especially in cold regions, allowing oil to be transported smoothly and efficiently through pipelines. The efficiency of this process largely depends on the frequency of the alternating current used, which is regulated by frequency converters. Frequency converters are electrical equipment designed to regulate the frequency of alternating voltage, which allows you to change the speed and torque of asynchronous-type electrical machines. The article offers a comprehensive theoretical and analytical study of the influence and importance of frequency converters in induction heating systems. This article also highlights the benefits and potential problems that are associated with the use of frequency converters and identifies potential areas for future research. In summary, this study highlights the critical role of frequency converters in induction heating of petroleum pipelines, while also recognizing their potential shortcomings and areas that require further improvement.

Key words: induction heating, frequency converters, oil pipeline, alternating current, energy efficiency.

FTAMP 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/VPLM4211>

***А. А. Кисманова¹, Қ. Төребек², А. У. Аджанов³,
К. М. Шакишева⁴**

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6150-0517>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3198-9806>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3662-1833>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5515-963X>

*e-mail: karligash-sh@mail.ru

АЙҚАСПАЛЫ ТЕРМОПЛАСТИКАЛЫҚ КАБЕЛЬ ЖҰМЫС ҰСТІНДЕ ОҚШАУЛАУ КҮЙІН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ АПАТТАРДЫҢ АЛДЫН АЛУ

Айқаспалы термопластикалық кабель (XLPEcables) – электрмен жабдықтау жүйесінің тұрақтылығы үшін өте маңызды. Электрмен жабдықтау жүйесіндегі апаттары орын алған кезде ол оның құзыретіндегі аймақта электр қуатының үлкен сөндірілуіне, жүйесінің істен шығуына әкеледі. Жасырын ақауларды тез жою және жүйенің қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үлкен маңызға ие. Сондықтан электрмен жабдықтау желісінде кабелдің жұмысының қауіпсіздігі мен сенімділігі жеткілікті назар аударып, апаттарды болдырмау және жұмыс жағдайын бақылау үшін қажетті және тиісті шараларды қабылдау қажет.

Кабелді қуат көзінен ажыратылғандағы оқшаулау өнімділігін тексерудің дәстүрлі әдістері электр қуатының нақты қажеттіліктерін қанағаттандыра алмайды. Бұл мақалада айқаспалы термопластикалық кабель оқшаулағышын керісінше жұмыс үстінде анықтау әдістері келтіріліп, оның артықшылықтары мен кемшіліктеріне талдау жүргізілді және даму бағыты талқыланды. Айқаспалы термопластикалық кабельдердің (XLPEcables) жақсы оқшаулау өнімділігі орташа және төмен кернеу өрістерінде ескі оқшауланған кабельдерді алмастырып, жоғары кернеу деңгейлерінде де кеңінен қолданылуда. Дәстүрлі профилактикалық сынақтардың электр қуатын өшірумен жүргізілуі, қазіргі таңда онлайн бақылау

технологияларын зерттеуді қажет етеді. Бұл кабельдердің сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарын уақытында жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: айқаспалы термопластикалық кабель; оқшаулағыш; электр қауіпсіздігі, кабельдер мен желілер

Кіріспе

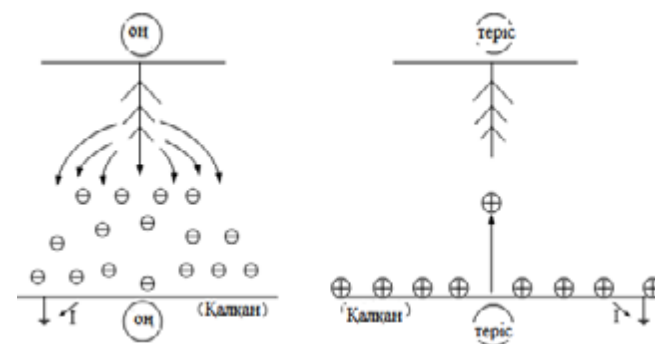
Айқаспалы термопластикалық кабельдері, электрмен жабдықтау қуатының жоғарылауынан, электрмен жабдықтаудың сенімділігіне, қауіпсіздігі мен электр желісінің қолайлы орналасуына орай кеңінен қолданылуда. Алайда, пайдалану кезінде кабельдер электрлік, жылулық, механикалық, химиялық және басқа факторлардың әсерінен көнереді, нәтижесінде бірқатар ақауларды тудырады. Кабельді оқшаулағышпен оқшаулаудың дәстүрлі әдісі профилактикалық сынау, бұл әдіс оффлайн режимде сынау болып табылады. Схеманы оқшаулағыш жағдайын тексеруді аяқтау, күрделі жөндеу және техникалық қызмет көрсету үшін, желіні үнемі өшіріп отыру керек, бірақ электрмен жабдықтаудың үзілуіне байланысты, бұл әдіс көптеген қуат көздерін тудырады.

Бұл мақалада айқаспалы термопластикалық кабель кабельдің оқшаулағышпен оқшаулауды елімізде және шетелде қолданыстағы онлайн режимімен таныстыру, оның артықшылықтары мен кемшіліктерін, сондай-ақ практикалық қолданудағы мәселелерді талдауға мүмкіндік береді, соңында айқаспалы термопластикалық кабельді оқшаулағышпен оқшаулауды онлайн режимінде анықтаудың даму тенденциясы талқыланады.

Материалдар мен әдістері

Айқаспалы термопластикалық кабельнің оқшаулағышын онлайн режимінде анықтау әдістері

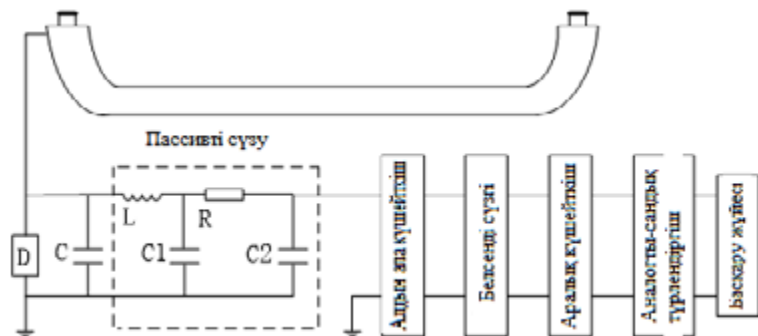
Тұрақты ток компоненті әдісі



Сурет 1– Электрлік дендрит тармақтарының ректификациялау әсерінің принциптік сызбасы

Тұрақты ток компоненті әдісі айқаспалы термопластикалық кабельнің ескіруінен туындаған электрлік дендрит тармақтарын «ректификация» нәтижесінде пайда болған тұрақты DC компонентін анықтау арқылы кабель оқшаулағышын бақылау жүзеге асырылады. Электрлік дендрит тармақтарының ректификация әсері 1-суретте көрсетілген, қолданылатын кернеудің теріс жарты циклінде оқшаулағышы нашар кабельдегі электрлік дендрит тармақтары ағып кетеді және оқшаулағышқа теріс зарядтың көп мөлшерін енгізеді, алайда, берілген кернеу жарты цикл үшін оң болған кезде, енгізілген оң заряд бұрын енгізілген теріс зарядтан аз болады, сыртқы өндірістік жиілік (50Hz) айнымалы тогының ұзақ уақыт қайталанатын әрекеті электрлік дендрит тармақтарының ұшында жинақталған теріс зарядты едәуір арттырады. Тармақталған және біртіндеп қорғайтын қабатқа ауысады, тек «ректификация» сияқты тұрақты ток компоненті пайда болады [1,1513-1520-66.]

Сондықтан, кабельдің өзегі мен қорғаныс қабаты арасындағы шағын тұрақты компонентті (жалпы nA деңгейі) өлшеу арқылы айқаспалы термопластикалық кабельнің оқшаулағыш күйін бақылауға болады. Анықтау схемасы 1-суретте көрсетілген.

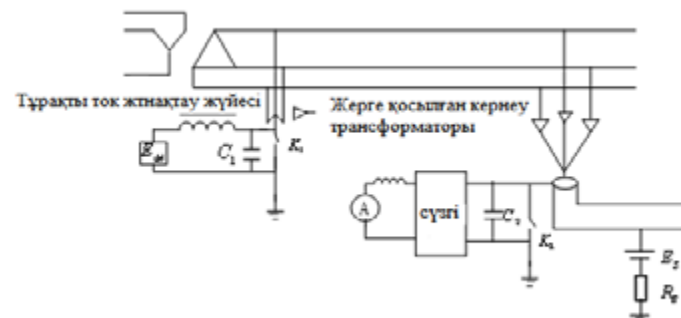


Сурет 2 – DC тұрақты компонент әдісі

Тұрақты ток компоненті әдісі тек қосымша құрылғыларсыз, анықтау үшін кабельді қабықты жерге қосу сымын қолданғандықтан қауіпсіз және ыңғайлы, бірақ оның кемшілігі- ақаулық сипаттамасын табу өте аз, анықтау қиын. Сонымен қатар, кабельді қорғайтын қабат пен жер арасындағы аз кішкене адасқан ағын (қаңғыбас) ток өлшеу нәтижелеріне үлкен қателіктер тудырады, оның үстіне анықталған токтан, тұрақты ток компоненті мен ағынды токтан ажырату қиынға соғады. Қабықтың оқшаулау кедергісі және кабель басының бетінің ағып кетуіне төзімділігі төмен болғанда және кабельді қорғайтын жердің химиялық электрлік потенциал үлкен болған кезде, анықтау циклінде үлкен интерференциялық ток болады, ол анықтау тогын әлсіретеді, өлшеу нәтижесінің қателігі үлкенірек болады. [2, 1-57-66.]

Адасқан ағын (қаңғыбас) токтың әсерін болдырмау үшін аппараттық құралдарда ағын тогының жолын бөгеу үшін тізбекті конденсаторды қолдануға болады; бағдарламалық жасақтамада оны электрлік дендрит ағымынан бөлу үшін жылдам Фурье түрлендіруін қолдануға болады; статистикалық талдау сияқты басқа өңдеу әдісі қолданылады. Тұрақты ток компоненті әдісімен өлшенген оқшаулағыш сапасының төмендеуі негізінен оқшаулағыштың ішінара нашарлауынан болады, ал жөнделуден кейін оқшаулағыш кедергісін қалпына келтіруге болады. [3, 25-38-66.] Оны оқшаулағышқа мониторинг жүргізу үшін қолдану онша маңызды емес. Ол әдетте айқаспалы термопластикалық кабельдеріндегі электрлік дендрит тармақтарының дамуын зерттеуге қолданылады.

Тұрақты ток жинақтау (суперпозициялық) әдісі



Сурет 3 – Тұрақты ток суперпозициясы әдісі

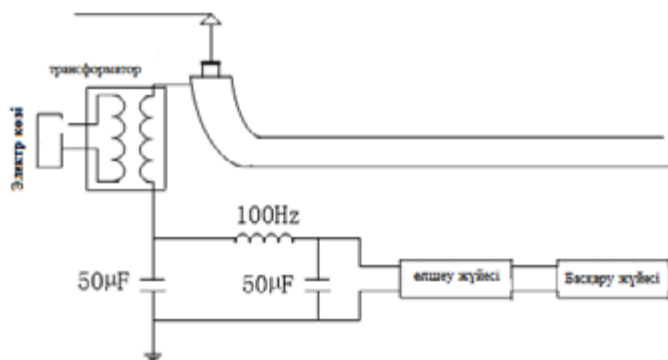
Тұрақты ток суперпозициясы әдісі - кернеу трансформаторының РТ бейтарап нүктесіндегі жер сымға тұрақты кернеуді (амплитудасы шамамен 50В) айдау және LC сүзгісін пайдаланып, сыналатын кабельдегі айналымы ток компонентін сүзгі тастаған соң, тұрақты кернеудің төмен кернеуінен туындаған оқшаулағыш қабатының тұрақты токтың әлсіз өзгерісі арқылы кабельдің оқшаулағышы күйін бақылап отыруы немесе кабельдің оқшаулағышы кедергісін есептеу арқылы кабель оқшаулағышының өзгеруін анықтауға болады. Оның принциптік сызбасы 3-суретте көрсетілген.

Тұрақты ток суперпозициясы әдісінің негізгі проблемалары мыналар: тұрақты ток күші салыстырмалы түрде әлсіз, әдетте нано-ампир (nA) деңгейінде, тұрақты ток компоненті әдісі сияқты, ағынның үлкен болуына байланысты бұл үлкен өлшеу қателігіне әкеледі; бұл әдіс тек бейтарап нүктесі тиімсіз түрде жерге қосылған электр желісіне негізделген; тұрақты токтың кернеу трансформаторына ұзақ уақыт енгізілуі трансформатордың магниттік қанықтылығын тудыруы және нөлдік реттілік кернеуін тудыруы мүмкін, бұл релелік қорғаныс құрылғысының дұрыс жұмыс істеуіне әкеледі. Тұрақты ток суперпозициясы әдісі кабельді оқшаулағышқа ағынның қатты әсер ететіндігін анықтайтын мәселені ескере отырып, кейбір әдебиеттер интерференциялық ток әсерін сүзу үшін компенсациялық электр потенциал күшін қолдануды немесе сыйымдылықты жоғарылатып, тұрақты ток кедергілерінің көз жолын кесіп тастау.

Айналымы токты жинақтау (суперпозициялау) әдісі

Айналымы токтың жинақтау әдісі – кабель қалқан сымы желісіне өндірістік жиілікті 2 еселеп оған 1 Hz қосып ($2 \times 50\text{Hz} + 1\text{Hz}$) жиіліктегі айналымы кернеуді қосу және 1 Hz деградация сигналын анықтау арқылы,

кабель оқшаулағышының ескіру жағдайын анықтау. Анықтау негізі - ескірген кабельдің экрандалған сымына орналастырылған айнымалы кернеудің жиілігі 100Hz-ке жеткенде, ескірген кабельдің сипаттамалық тогы салыстырмалы түрде үлкен болады, бірақ оқшаулағышы жақсы кабель үшін сипаттамалық ток пайда болмайды, әсіресе қабаттасқан кернеудің жиілігі 101,4 Hz-ке жеткенде, оқшаулағышдың ескіргендігін көрсететін сипаттамалық ток максималды мәнге ие болады. Айнымалы токтың суперпозиция [4, 1-57-66]. әдісінің сымдар тізбегі 4-суретте көрсетілген.



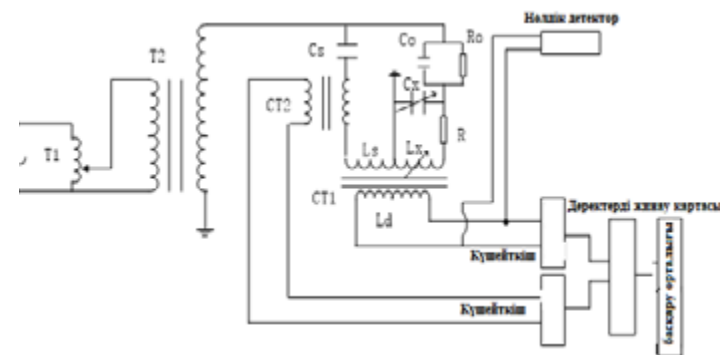
Сурет 4 – Айнымалы токтың жинақтау (суперпозиция) әдісі

Кабельді оқшаулағыштың басқа онлайн бақылау әдістерімен салыстырғанда айнымалы кернеудің жинақтау әдісі кернеуді кабельдің жерге қосу сызығынан оңай түсіре алады, Тек 5V айнымалы кернеуді қосу арқылы, айқын сипаттамалық ток пайда болады, өлшеу қарапайым және ыңғайлы; Кабельдің соңғы бөлімің дефаксация мен Бронды оқшаулағыш кедергісі аз әсер етеді. Сонымен бірге, анықтау дәлдігі жоғары және кедергіге қарсы қабілеті күшті, бұл кабельді оқшаулауды бақылаудың жақсы әдісі. Алайда бұл әдіс отандық зерттеулерде жаңадан басталған және онша жетілмеген, нақты жұмыс деректері жоқ, сондықтан оқшаулаудың деградациясы туралы нақты шешім жоқ. Жапонияда бұл әдісті зерттеу алдын-ала нәтижеге қол жеткізді.

Гармоникалық компонент әдісі

Ескірген айқаспалы термопластикалық кабель синусоидалы кернеудің әсерінен ысырап тогында гармоникалық [5, 272-278-66.] компоненттер пайда болады. Бұл кабель оқшаулағышының ескіруінен пайда болған сызықтық емес вольт-амперлік сипаттамасынан электрлік дендрит туындайды. Зерттеулер көрсетеді, кабельді оқшаулағыштың нашарлауымен жоғалту тогындағы гармоникалық компоненттер үлкейеді, бірақ гармоникалық компоненттер бұзылмаған кабельде анықталмайды, сондықтан кабельді

оқшаулаудың онлайн-бақылауын кабельді жоғалту тогындағы гармоникалық компоненттерді анықтау арқылы жүзеге асыруға болады, анықтау принципі 5-суретте көрсетілген.



Сурет 5– Гармоникалық компонент әдісі

Сыртқы кернеу айқаспалы термопластикалық кабельне түскенде, жоғарыдағы суреттегі C_x пен L_x реттеп, электр көпірді теңдестірілген күйге жеткізіледі. Бұл кезде гальванометрдің мәні нөлге тең, сондықтан өлшенген шығын коэффициенті 1-ші теңдеуде көрсетілген:

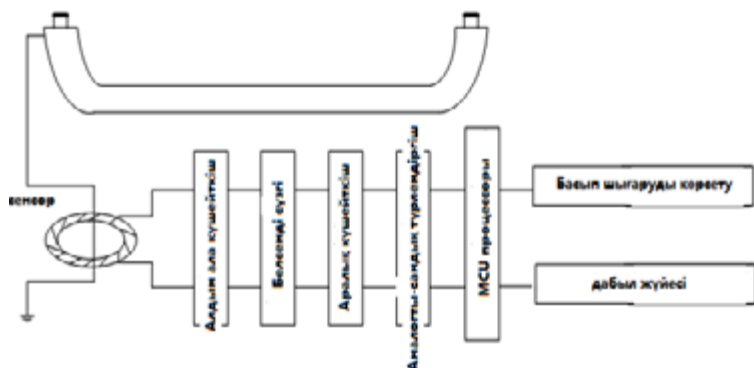
$$\tan \delta = \omega R C_x \quad (1)$$

Осы уақытта CT_2 ток компараторының мәні электр желісіндегі гармоникалық компоненттерді көрсетеді; Содан кейін C_x мәнді нөлге келтіреміз, бастапқыда C_x арқылы өтетін ток I_x енді L_x үстінен ағады, ал L_d -де теңгерімсіз ток пайда болады, бұл теңгерімсіз ток шығын ток ағыны, CT_1 ток трансформаторымен шығарып алынады, алайда, бұл шығын тогының гармоникалық құрамына кабель оқшаулағышының ескіруінен туындаған гармоникалық компонент және электр желісіндегі электрмен жабдықтаудың гармоникалық компоненттері кіреді, ол айқаспалы термопластикалық кабель оқшаулағышының ескіру дәрежесін тікелей және дәл көрсете алмайды.

Практикалық қолдануда кабельдің оқшаулағышының ескіруінен туындайтын гармоникалық компоненттер көбінесе өзіндік сигналдық кедергілерден асып түсетін кабельдің өзі гармоникалық кедергілерге ұшырағандықтан, анықтау нәтижесінің қателігі үлкен болады, бұл инженерлік қолдануды шектейді. Сонымен қатар, жүргізіліген зерттеулер, бұл электрлік дендрит сызықтық емес сипаттамаларына байланысты тақ гармониктер

шығын тоғын анықтауға үлкен қателіктер әкелетіндігін көрсетеді, анықтау кезінде модуляция арқылы тек жұп гармониканы ғана өлшеген дұрыс.

Жер сымды ток ағыны әдісі



Сурет 6 – Жер сымды ток ағыны әдісі

Қалыпты жағдайда айқаспалы термопластикалық кабель өткізгіші [6, 36–47-бб] мен металл қорғайтын қабаты арасындағы оқшаулағыш қабат резисторлар (R) мен конденсаторлардан (C) тұратын тізбек желісіне тең болуы мүмкін. Әдетте, осы желі кедергісі кем дегенде ондаған мегаомды немесе одан да көп құрайды.

Айқаспалы термопластикалық кабельдің сыртқы жиілігі (f) айнымалы кернеу $U = U_0 \sin \omega t$ болған кезде, жерге қосылған сым тоғы (i) кернеуді (U), эквивалентті қарсылықтың (R) және эквивалентті сыйымдылықтың (C) келесі қатынасымен байланысты (2-ші теңдеу):

$$i = U / \left(R + \frac{1}{2\pi f C} \right)$$

Демек, айқаспалы термопластикалық кабельдің негізгі оқшаулағышында қалыпты жұмыс процесінде аз сыйымдылық тоғы болады. Зерттеулер көрсеткендей, айқаспалы термопластикалық кабельдің оқшаулағышы электрлік дендрит тармақтарының дамуына байланысты нашарлаған кезде, ол көбінесе үлестірілген сыйымдылықтың біркелкі өсуі болады, сондықтан, кабельге сыртқы кернеудің амплитудасы мен жиілігі өзгеріссіз қалған жағдайда, 2-ші теңдеуден жердегі сым тоғы осы уақытта үлкен

болатынын көруге болады, басқа сөзбен айтқанда, жердегі сымның (i) өсуі (ΔI_g) де артады, ескірудің жеделдетілген сынағы жер сым тоғының (i) артуы (ΔI_g) айқынырақ екенін және оның айнымалы кернеудің кернеуімен жақсы байланысы бар екенін дәлелдейді. [7, 19-24-бб.]

Демек, айқаспалы термопластикалық кабельдің жұмыс күйін онлайн бақылауға бірфазалы электр кабельдің жерлендіру сыйымдылығын немесе үш фазалы электр кабельдің жерге қосылыстың теңгерімсіз тоғын онлайн бақылау және тиісті бөгеуіл сигналдарын тиімді жою арқылы қол жеткізуге болады. Нақты анықтау принциптерінің блок-схемасы 6-суретте көрсетілген.

Бірақ жер сымның ток әдісі [8, 4-6-бб] бір фазалы айқаспалы термопластикалық кабельдерін анықтауға жақсы әсер етеді, өйткені жер сымның тоғы (i) үлестірілген сыйымдылықтың өзгеруіне өте сезімтал. Үш фазалы айқаспалы термопластикалық кабельдері [9, 287-291-бб.] үшін үш фазалы оқшаулағышы біркелкі түспейді, де үш фазалы жерге тұйықталу тоғының оқшаулағыш ақауларына әсер етпеуі мүмкін.

Нәтижелер және талқылау

Кабель оқшаулағышын Онлайн-тестілеудің дамуына әсер ететін факторлар

Айқаспалы термопластикалық кабель оқшаулағышты онлайн режимінде анықтау технологиясы айтарлықтай дамығанымен, кең ауқымды нақ майдан анықтау кезінде сирек қолданылады, негізгі себептері:

1 Көптеген әдістермен талап етілетін сигнал әлсіз, анықтау жабдықтарының шектеулігі мен нақты жердегі әртүрлі кедергілерге байланысты сипаттамалық сигналдарды дәл шығару қиынға соғады, белгілі бір жағдайларда ғана онлайн режимінде анықтауға болады.

2 Нақты жерде тексеру деректері жетіспейді. Қазіргі уақытта кабельді оқшаулағышты желілік сынау әдістерінің көпшілігінде кабельдің ескіруіне қол жеткізу үшін зертханалық модельдеу қолданылады, бұл нақты жердегіден, әсіресе нақты пайдалану ортасынан және бөгеу көзінен өзгеше.

3 Кабельдің ескіру өлшемдерін тұжырымдау қиын. Онлайн-тестінің көптеген әдістері сенімді критерийлерге ие емес, ал деректерді жинау белгілі бір уақытты алады, сондықтан анықталған кабельдің оқшаулағыш оқшаулау күйін дәл анықтау қиын. [10, 287-291-бб]

Қорытынды

Адамдардың электр энергиясына тәуелділігі артқан сайын кабелдік желілердегі апаттардың қоғамға әсері арта түседі, сондықтан кабелдік желілердің қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету ерекше маңызды. Айқаспалы термопластикалық кабельдің жақсы оқшаулау өнімділігіне байланысты, ол орташа және төмен кернеу өрістерінде қарамайға сіндірілген қағаз ескі оқшауланған кабельдерді ауыстырды және өте жоғары кернеу

деңгейлерінде қолданылды. Бұрын біздің елде кеңінен қолданылатын кабельдік окшаулаудың профилактикалық сынақтарды жүргізу үшін белгілі бір уақытқа электр қуатының өшіру керек болса, бұл желіден тыс анықтау әдісі. Сондықтан, көлденең байланысқан полиэтилен кабельдерді онлайн бақылау технологиясын зерделеу кабельдердің сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етіп, өте маңызды болып табылатын уақтылы техникалық қызмет көрсетуді, кабельдерді жөндеуді және ауыстыруды жүзеге асыра алады. Сондықтан, айқаспалы термопластикалық (полиэтилен) кабельдерін жұмыс үстінде окшаулау күйін бақылау технологиясын зерделеу, кабельдердің сенімді жұмысын қамтамасыз ету үшін өте маңызды.

Қазіргі уақытта айқаспалы термопластикалық кабельдің жұмыс үстінде окшаулау күйін бақылау технологиялары көп болғанымен, әртүрлі шектеулерге байланысты әртүрлі сипаттамалары мен қолдану аясына ие, әсіресе анықтау әдістерінің көпшілігі қоршаған ортаға кедергісіне ұшырайды, сондықтан пайдалы сигналдарды анықталған сигналдардан бөлуді қалай жақсартуға болады, бұл өлшеу дәлдігін арттыру - шешуді қажет ететін бірінші мәселе, екіншіден, бірыңғай әдістің белгілі шектеулері болады. Онлайн режимде тестілеудің бірнеше окшаулау әдістеріне негізделген кешенді бағалау критерийін қалай құруға болады - бұл болашақ даму бағыты.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Yamaguchi, S., Soda, S., Takada, N. Development of a New Type Insulation Diagnostic Method for Hot-Line XLPE Cables, 7th Edition [Text].—The United States : IEEE Power Engineering Review, : IEEE, – 1989. –V.9 –35–36 p
- 2 Khersonsky, Y., Islam, M., Peterson, K. [Challenges of connecting shipboard marine systems to medium voltage shoreside electrical power, Record of Conference Papers Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference](#), [Text].—The United States : IEEE Power Engineering Review, : IEEE – 2005. – № 43(3):838–844 p
- 3 Hozumi, N., Okamoto, T., Imajo, T. [Space charge distribution measurement in a long size XLPE cable using the pulsed electroacoustic method, Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation](#), [Text].—The United States: IEEE Power Engineering Review, Publisher : IEEE – 1992. – 25–38 p
- 4 Даффа, У. Б.М. Метод и схема Даффа У.Б.М. использования поляризованного устройства на переменном токе [Текст]. ФИПС– 2005. – №. 2249285. –С–1–57
- 5 Головкин, В. П., Зверева, Т. И., Чернова, Т. А. Метод создания пространственно-временной модели главного магнитного поля путем

объединения методов сферического гармонического анализа и естественных ортогональных составляющих [Текст]. // Геомагнетизм и аэрномия. – 2007. –Т. 47. – № 2. – С. 272–278.

6 Лебедченко, О.С., Пузач, С.В., Зыков, В. И. Эффективность применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов систем безопасности атомных станций в условиях пожара [Текст]: // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 36–47

7 Чекалин, В.Г., Тошбоев, Ю.Д. Новые методы оценки количества и качества электроэнергии в трехфазных цепях [Текст]. // Политехнический вестник : Инженерные исследования. – 2016. – № 1. С. 19–24.

8 Панкратов, И. А. Численная аппроксимация линий тока методом Галёркина // Juvenis scientia. 2016. – №. 2. С.4–6

9 Nakamura, S., Morooka, S., Kawasaki, K. [Conductor temperature monitoring system in underground power transmission XLPE cable joints. IEEE Transactions on Power Delivery](#) [Text]. –The United States: IEEE Power Engineering Review, Publisher: IEEE, 1989.V.7(4) : 1688–1697 p.

10 Nugamani, H.N., Channakeshava, R.N. [Investigations on the failure modes of XLPE cables and joints. IEEE Transactions on Power Delivery](#) [Text].—The United States : IEEE Power Engineering Review, Publisher: IEEE, 1998. V : 13.(2), P. 287–291.

REFERENCES

- 1 _Yamaguchi, S., Soda, S.,Takada, N. Development of a New Type Insulation Diagnostic Method for Hot-Line XLPE Cables, 7th Edition [Text]. // IEEE Power Engineering Review, 1989. – Volume 9, P. 35 – 36
- 2 Khersonsky, Y., Islam, M., Peterson, K. [Challenges of connecting shipboard marine systems to medium voltage shoreside electrical power, Record of Conference Papers Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference](#), [Text] // IEEE Power Engineering Review, 2005. – №43 (3).– P. 838 – 844
- 3 Hozumi, N., Okamoto,T., Imajo T. [Space charge distribution measurement in a long size XLPE cable using the pulsed electroacoustic method, Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation](#), [Text] // IEEE Power Engineering Review, 1992.– P. 25 – 38.
- 4 Daffa, U.B.M. [Metod i skhema Daffa U.B.M. ispol'zovaniya polarizovannogo ustroystva na peremennom toke \[Method and scheme of Duff W.B.M. using a polarized alternating current device\]](#) [Text].FIPS, 2005. – №. 2249285. – P.1–57.

5 **Golovkov, V. P., Zvereva, T. I., Chernova, T. A.** Metod sozdaniya prostranstvenno-vremennoy modeli glavnogo magnitnogo polya putem ob'yedineniya metodov sfericheskogo garmonicheskogo analiza i yestestvennykh ortogonal'nykh sostavlyayushchikh [A method for creating a space-time model of the main magnetic field by combining methods of spherical harmonic analysis and natural orthogonal components] [Text] // Geomagnetizm i aeronomiya, 2007. – Т. 47. – № 2. – P. 272–278.

6 **Lebedchenko, O. S., Puzach, S. V., Zykov, V. I.** Effektivnost' primeneniya vspuchivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy silovykh kabeley kanalov sistem bezopasnosti atomnykh stantsiy v usloviyakh pozhara [The effectiveness of the use of bulging flame retardant coatings of power cables of channels of safety systems of nuclear power plants in fire conditions] [Text]. Pozharovzryvbezopasnost'/Fire and Explosion Safety, 2021. – Т. 30. – № 4. – P. 36–47.

7 **Chekalin, V. G., Toshboyev YU. D.** Novyye metody otsenki kolichestva i kachestva elektroenergii v trekhfaznykh tsepyakh [New methods for estimating the quantity and quality of electricity in three-phase circuits] [Text] // Politekhnicheskii vestnik : Inzhenernyye issledovaniya, 2016. – №1 – P. 19 – 24.

8 **Pankratov, I. A. Chislennaya,** approksimatsiya liniy toka metodom Galorkina [Numerical approximation of streamlines by the Galerkin method] [Text]. Juvenis scientia, 2016. – № 2. P. 4 – 6.

9 **Nakamura, S., Morooka, S., Kawasaki, K.** [Conductor temperature monitoring system in underground power transmission XLPE cable joints.](#) [IEEE Transactions on Power Delivery](#) [Text] // IEEE Power Engineering Review. Publisher : IEEE, 1989. V : 7 (4). P.1688–1697.

10 **Nugamani, H.N., Channakeshava, R.N.** [Investigations on the failure modes of XLPE cables and joints.](#) [IEEE Transactions on Power Delivery](#) [Text] // IEEE Power Engineering Review, Publisher: IEEE.–1998. V : 13.(2), P. 287–291

30.09.24 ж. баспаға түсті.

29.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

***А. А. Кисманова¹, Қ.Төребек², А. У. Аджанов³, К. М. Шакишева⁴**

^{1,2,3,4}Казахский агротехнический исследовательский университет имени

С. Сейфуллина Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 30.09.24

Поступило с исправлениями 29.11.24

Принято в печать 04.12.24

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙ НА РАБОЧЕЙ ОПОРЕ ПЕРЕКРЕСТНОГО ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Скрещенный термопластичный кабель (XLPE cables)-очень важен для стабильности системы электроснабжения. При возникновении аварий в системе электроснабжения она приводит к большему отключению электроэнергии, отказу системы в зоне ее компетенции. Большое значение имеет быстрое устранение скрытых неисправностей и обеспечение безопасной работы системы. Поэтому необходимо уделять достаточное внимание безопасности и надежности работы кабеля в сети электроснабжения, принимать необходимые и соответствующие меры для предотвращения аварий и контроля за состоянием работы.

Традиционные методы проверки производительности изоляции при отключении кабеля от источника питания не удовлетворяют фактическим потребностям в электрической мощности. В данной статье приведены методы определения изоляции перекрестного термопластикового кабеля в обратном положении, проведен анализ его преимуществ и недостатков и обсуждены направления развития. Хорошая производительность изоляции перекрестных термопластичных кабелей (XLPEcables) широко применяется в полях среднего и низкого напряжения, заменяя старые изолированные кабели, а также на уровнях высокого напряжения. Проведение традиционных профилактических испытаний с отключением электроэнергии в настоящее время требует изучения технологий онлайн-контроля. Это позволяет своевременно осуществлять техническое обслуживание и ремонт для обеспечения надежной работы кабелей.

Ключевые слова: скрещенный термопластичный кабель; изолятор; электробезопасность, кабели и сети

*A. A. Kismanova¹, K. Torebek², A. U. Ajanov³, K. M. Shakisheva⁴
^{1,2,3,4}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana
Received 30.09.24
Received in revised form 29.11.24
Accepted for publication 04.12.24

MONITORING OF INSULATION CONDITION AND PREVENTION OF ACCIDENTS ON THE CROSS-OVER THERMOPLASTIC CABLE SUPPORT

Crossed thermoplastic cable (XLPE cables) – very important for the stability of the power supply system. In the event of accidents in the power supply system, it leads to a greater power outage, failure of the system in its area of competence. Quick repair of hidden faults and ensuring safe operation of the system is of great importance. Therefore, it is necessary to pay sufficient attention to the safety and reliability of the cable in the power supply network, to take the necessary and appropriate measures to prevent accidents and monitor the state of operation. Traditional methods of testing insulation performance when the cable is disconnected from the power supply do not meet actual electrical power requirements. This article presents methods for determining the insulation of a cross-over thermoplastic cable in the reverse position, analyzed its advantages and disadvantages, and discussed the directions of development. Good insulation performance of cross-over thermoplastic cables (XLPE cables) is widely used in medium and low voltage fields, replacing old insulated cables, as well as at high voltage levels. Conducting traditional preventive testing with blackouts currently requires exploring online control technologies. This allows timely maintenance and repair to ensure reliable cable operation.

Keywords: crossed thermoplastic cable; insulator; electrical safety, cables and networks

FTAMP 28.15.23

<https://doi.org/10.48081/ENJV5053>

*A. T. Kishubaeva¹, N. M. Akhmetjan², S. B. Nazymbek³

^{1,2,3}Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4164-7590>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5039-2305>

*e-mail: Altynai_999@mail.ru

БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ БОЛЖАМДЫ БАСҚАРУ МОДЕЛЬДЕРІН ТАЛДАУ

Мақалада белгісіздік жағдайында болжамды басқару модельдері зерттеледі. Зерттеу өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға және кездейсоқтықтың әсерін азайтуға бағытталған. Зерттеудің негізгі мәселесі – кездейсоқ факторлардың және орта параметрлерінің өзгеруі жайында басқару жүйелерінің тиімділігін қамтамасыз ету. Зерттеу сыртқы әсер факторларының өзгерісін ескере отырып, басқару стратегияларын оңтайландыру жолдарын іздеуге бағытталған. Зерттеу барысында тиімділікті арттыру үшін математикалық модельдер мен алгоритмдер қолданылды, белгісіздік жағдайындағы басқару жүйесі тиімділігі қарастырылды. Зерттеу нәтижелері басқару жүйелерінің параметрлеріне, өзгерістеріне қалай жауап беретінін көрсетеді. Бұл нәтижелер өндірістік және инженерлік жүйелерде басқару процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысымыз басқару жүйелерінде белгісіздік жағдайларында болжамды басқарудың жаңа тәсілдерін ұсынды. Бұл өндірістік және техникалық процестерді басқарудың тиімділігін арттыруға бағытталған жаңа нәтижелерге әкелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, белгісіздік жағдайында басқару жүйелерінің бейімділігі мен икемділігін арттыру маңызды болып табылады. Осы арқылы басқару жүйелерінің сыртқы өзгерістерге жылдам әрі тиімді жауап беру қабілеті жоғарылайды. Мұндай зерттеулердің өндірістік процестердің тұрақтылығы мен тиімділігін арттыруда маңызы зор, себебі олар нақты уақытта стратегиялық шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: болжамды басқару, стохастикалық жүйелер, робастикалық жүйелер, белгісіздік жағдайы, жұмсақ шектеулер, қатты шектеулер.

Кіріспе

Болжамды басқару – бұл жүйенің алдағы қасиеттерін болжауға негізделген басқару әдісі. Ағымдағы қателіктерге жауап берудің орнына, болжамды басқару болашақ оқиғаларды белсенді түрде болжайды және белгілі бір сапа критерийін оңтайландыру үшін басқару әсерлерін жоспарлайды[1]. Өндірісте болжамды басқару жабдықтың істен шығуын болжау, өндірістік процестерді оңтайландыру және тауарлы-материалдық құндылықтарды басқару үшін қолданылады. Бұл тоқтап қалуды азайтуға және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Шектеулердің әсері кейбір нақты жүйелерде физикалық шектеулер болады(мысалы жылдамдық шектеуі, температура, т.б). Модельдік болжамды басқару оны басқару сигнал кезінде анықтауға мүмкіндік береді.

Модельді болжамды басқару басты параметрі болып басқару мүмкіндігі(көкжиегі) болып табылады. Ол біздің математикалық модельдің қаншалықты ұзаққа болжам жасалатыны, қаншалықты басқару әрекеті сақталатыны жайлы ақпарат береді.

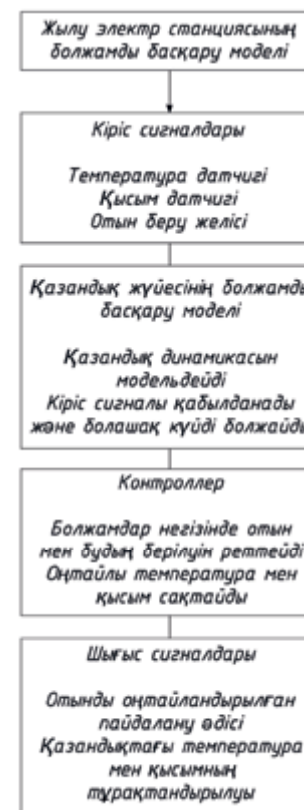
Болжамды басқару процессі:

Ағымдағы жүйенің күйі туралы ақпарат алу.

Басқару әсерінің шектеуін, сипаттамасын болжау үшін жүйе моделін пайдалану.

Жүйеге оңтайлы басқару әсерінің бірінші мәнін қолдану.

Цикл қайталанады, өйткені жаңа өлшемдер келіп, болжам жаңартылады.



Сурет 1 – Жылу электр станциясындағы болжамды басқару

Мәліметтердегі шу мен дәлсіздіктер жүйені басқарудың дәлдігіне айтарлықтай әсер ететін маңызды факторлар болып табылады. Бұл құбылыстар датчиктермен олардан келетін сигнал қателіктерімен немесе кездейсоқ ауытқулармен немесе жүйеге әсер ететін күтпеген сыртқы әсерлерге тәуелді.

Болжамды басқару шектеулер мен белгісіздіктерді ескере отырып, күрделі жүйелерді тиімді басқару қабілетіне байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Мысалы, көлікті жолақта ұстау жүйелерінде болжамды басқару моделі көліктің траекториясын болжауға және қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ете отырып, менгерікті(руль) басқаруды уақытымен реттеуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, болжамды басқару моделі автономды көліктерде кеңінен қолданылады, мұнда жүйе көптеген датчиктердің (лидар,

камералар және т.б.) деректеріне негізделген қозғалысты басқарады және динамикалық жағдайларға бейімделуге және төтенше жағдайлардан аулақ болуға көмектесетін жол жағдайындағы ықтимал өзгерістерге реакцияларды болжайды.

Стохастикалық белгісіздік жүйенің мәндері немесе сыртқы факторлар кездейсоқ өзгерген жағдайларда пайда болады. Бұл өзгерістерді ықтималдық теориясы мен статистика арқылы анықтауға мүмкіндік бар. Мысалы: ауа-райының күтпеген өзгеруі, шикізат сапасының өзгеруі, шикізат тасу барысындағы ауытқу. Стохастикалық модельдеу экономикалық және қаржылық модельдерде жиі қолданылады, өйткені олар нарықтық жағдайдың өзгеруі, саяси тәуекелдер және дәл болжау мүмкін емес басқа факторлар сияқты кездейсоқ факторларға байланысты жағдайдың дамуының әртүрлі нұсқаларын болжай алады.

Детерминирленген белгісіздік - бұл басқару процестеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін жүйедегі немесе ортадағы өзгерістер параметрлері белгілі жағдай. Бұл өзгерістер кездейсоқ емес, олар жоспар бойынша немесе белгілі бір заңдылықтарға байланысты болады[1].

Қоршаған орта параметрлерінің(температура, ылғалдылық, атмосфералық қысым, т.б.) басқару жүйелеріне тікелей әсер етіп, басқару жүйесінің тұрақтылығы мен тиімділігіне ықпал етеді. Автоматтандырылған жүйелердің жұмысы күрделі табиғи және техногендік факторларға тәуелді, сол үшін қоршаған орта параметрлерінің өзгерістерін ескерген өте маңызды. Қоршаған ортаның ластануы шаң түтін, химиялық заттар сияқты ластаушы элементтер де басқару жұмысына кері әсерін тигізеді.

Температураның ауытқуы автоматтандырылған жүйелердің жұмыс тиімділігіне едәуір әсер етеді. Зауыт ішіндегі датчиктермен басқару элементтері белгілі температуралық шектерде жұмыс жасауға арналған, егер ол ауытқып кетсе жұмыс өнімділігі төмендеп, тіпті істен шығуы мүмкін.

Ылғалдылықтың әсері әсіресе жоғары ылғалдылық сыртта орналасқан құрылғыларға конденсацияның пайда болуына алып келеді, ол өз жағдайында сымдардың қысқа тұйықталуына немесе коррозияға ұшырайды.

Құрылғы бөлшектерінің тозуы, электрлік құрылғылардың істен шығуы немесе бағдарламалық қателер күтпеген жағдайда орын алуы. Мұндай факторларды толық болжау мүмкін емес, жүйе ішіндегі ақауларды анықтау және қалпына келтіру механизмдері болу керек. Өндірістік желілерде конвейер таспасының моторы кенеттен бұзылып қалуы мүмкін, бұл бүкіл өндіріс процесін тоқтатады. Бұл жағдайларда жүйенің қосымша моторлары немесе диагностикалық болжау құрылғылар болуы қажет.

Материалдар мен әдістері

Болжамды басқару жүйелердің басқарылуының тиімділігін арттыру мақсатында болашақтағы оқиғаларды алдын-ала болжауға негізделеді. Мұндай басқару стратегияларының дәстүрлі модельдері күрделі жүйелердің динамикасын математикалық тұрғыда кескіндеп, болашақтағы процестерді болжауға мүмкіндік береді.

Динамикалық модельдер – жүйенің маусым бойы өзгеруін сипаттайтын модельдер. Бұл модельдер жүйенің ағымдағы күйіне сүйене отырып, оның келешектегі өзгерістерін болжайды[2]. Жүйенің динамикасы әрбір мерзім аралығында нақтылы функциялармен сипатталады. Дәл осындай модельдер, әдетте, келесі жағдайларда қолданылады: физикалық процестерді болжауда (мәселен, температураның өзгеруі, химиялық реакциялардың жүруі.) Өндірістік процестерді басқаруда, өнім шығару жылдамдығын, ресурстарды тұтынуды не энергия шығынын есептеуде. Динамикалық модельдер жүйедегі өзгерістерді нақтылап қана қоймай, алдағы ауытқуларды алдын-ала есептеуге мүмкіндік береді[2]. Артықшылығы болашақ өзгерістерді нақты болжауға қабілетті. Уақыттық динамиканы есепке ала отырып, процестерді оңтайландыру мүмкіндігі бар. Мысалы қазандықта берілетін газ мөлшерін немесе су айналымын динамикалық модельдер арқылы оңтайландыру жүйенің күйіне сәйкес автоматты түрде реттеліп отырады.

Өзгеретін ортада жүйенің параметрлері уақыт өте келе өзгеріп, жүйені басқаруды қиындатады. Өзгерістерді болжау үшін және икемделу үшін ақпараттарды үнемі өңдеп отыратын адаптивті модельдер қолданылады. Адаптивті модельдер жүйенің жұмыс параметрлерін үздіксіз бақылап, өзгерістерге икемделе алады[3][4][5]. Үнемі өзгеріп отыратындықтан статикалық модельдерге бейімделе алмайды. Динамикалық модельге де икемсіз келеді параметрлер өзгерсе икемділігі төмендейді.

Жүйенің математикалық моделі жүйенің динамикасын сипаттайтын күй теңдеулері ретінде көрсетіледі. Математикалық модель басқару әсеріне жауап ретінде жүйенің шығысының алдын алуға мүмкіндік береді.

Белгісіздік ортасындағы басқару жүйесін қарастырайық. Белгісіздік ортасының әсері жүйеге шектеулер орнатады. Қоршаған ортаның күйін бағалау үшін бақылау жүргізу барысы жүйенің күйі мен кіріс мәндеріне және өлшеу қателіктеріне тәуелді болады[2]. Бұндай бақылау жүргізу әдісі стохастикалық талдауға негізделеді.

Автоматты басқару жүйесі орнатылған көлік күйінің теңдеуі

$$x(t+1) = x(t) + v(t) * \Delta t + \frac{1}{2} a(t) * \Delta t^2$$

$$x_0 = x(t)$$

, мұндағы $x(t)$ уақыт t кезіндегі автомобильдің күйі; $v(t)$ уақыт t кезіндегі автомобильдің жылдамдығы; $a(t)$ уақыт t кезіндегі көлік үдеуі (басқарылатын шама); Δt уақыт мәнінің өзгеру қадамы.

$$v(t) = v_0(x(t))$$

$t+1$ болған кезде көліктің күйі

$$x_0 = x(t+1)$$

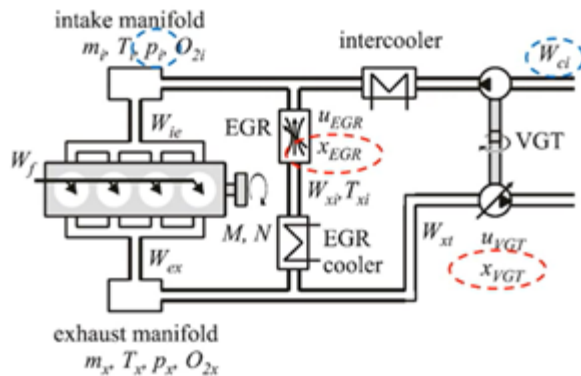
Жолда пайда болуы мүмкін жаяу жүргіншілер, басқа көліктер немесе тағы да басқа объектілер кездейсоқ кедергілер болып табылады. Кедергінің пайда болу ықтималдығын сирек оқиғалардың таралу заңы – Пуассон заңымен сипатталады:

$$P(k) = \lambda e^{-\lambda}; \lambda = \frac{0.05}{\text{метр}}$$

, мұндағы кедергіні анықтау заңы; кездейсоқ шаманың математикалық күтімі (белгіленген кашықтық аралығындағы оқиғалардың орташа саны); натурал логарифмнің негізі.

Яғни қоршаған орта немесе басқада күйі өзгеріске ұшырайтын объектілерге негізделген теңдеу құрылады.

Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару кезінде робастикалық әдісті қолдану.



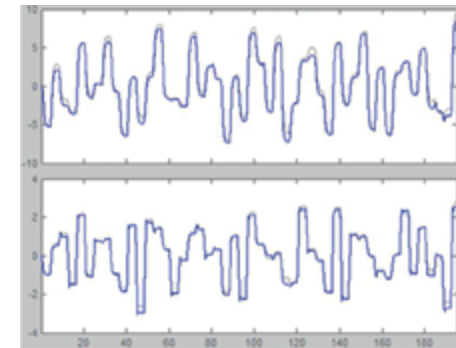
Сурет 2 – Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару сұлбасы.

Мұндағы EGR (Exhaust Gas Recirculation) - пайдаланылған газды қайта өңдеу жүйесі; u_{EGR} – EGR жүйесін басқару сигналы, x_{EGR} - EGR жүйесінің күйі; VGT (Variable-geometry turbocharger) – айнымалы геометриялы турбокомпрессор; u_{VGT} – VGT компрессорын басқару сигналы, x_{VGT} - VGT компрессорының күйі, W_f – жанармай шығыны, W_{ci} – компрессор кірісіндегі ауа шығыны, W_{ie} – қозғалтқыш кірісіндегі ауа шығыны, W_{ex} – пайдаланылған газдар шығыны, W_{xi} – қайта өңдеуден өткен пайдаланылған газдар шығыны, T_{xi} – қайта өңдеуден өткен пайдаланылған газдар температурасы, W_{xt} – турбинадан өтетін ауа шығыны; m_i , T_i , p_i , O_{2i} – кіріс коллекторына келетін масса, температура, қысым және оттегі мөлшері; m_x , T_x , p_x , O_{2x} – шығыс коллекторына келетін масса, температура, қысым және оттегі мөлшері; M – қозғалтқыш моменті, N – қозғалтқыштың айналу жылдамдығы.

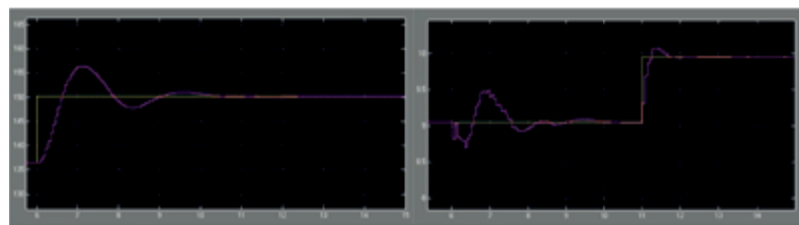
Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару кезінде оптималды қысым көрсеткіші (p_i) мен VGT компрессорының ауа шығыны көрсеткішін (W_{ci}) алу мақсаты қойылады. Бұл мақсатта басқарылатын айнымалылардың мәнін орнату жүзеге асырылады. Ол үшін қозғалтқыштың моменті M мен қозғалтқыштың айналу жылдамдығы N мәндерін беру орындалады. Яғни M мен N басқару мәндері, ал p_i мен W_{ci} шығыс мәндері болады.

Нәтижелер және талқылау

$M=160$ Нм және $N=2025$ айн/мин болатын қозғалтқыштың жұмыс режимін қарастырайық. Басқару жүйесі керекті мәндерге орнатылу уақытын зерттеу үшін 10 % - ға дейін секіріс (скачок) жасайтын бір сатылы сигнал беріледі.



Сурет 3 – Шығыс мәндерінің жауап беру уақытын салыстыру.



Сурет 4 – Қысымның және VGT компрессорындағы ауа шығынының бір сатылы сигнал берілген кездегі өтпелі функциясы.

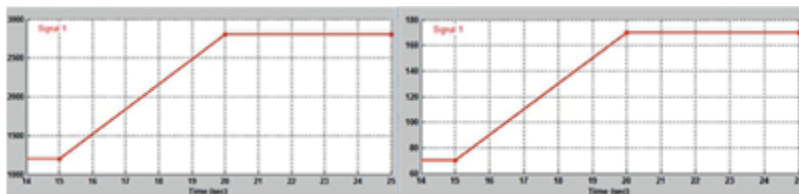
Бұл өтпелі функциялардан қысым көрсеткіші 6,5 секунд аралығында, ал ауа шығыны көрсеткішінің 2,5 секунд аралығында орнатылатыны бақыланады.

Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесі үшін тоғыз жұмыс режимдері анықталған.

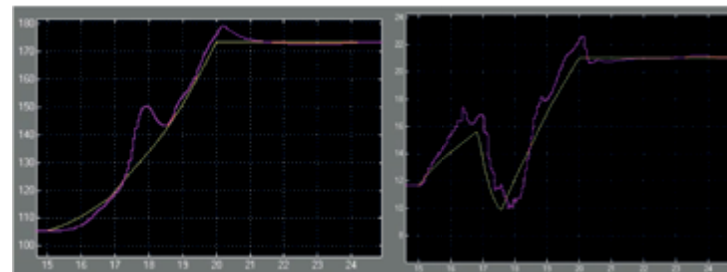
Кестел – Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесінің жұмыс режимдері.

Төмен (82 Нм)		Қозғалтқыш моменті		
		Орташа (160 Нм)	Жоғары (238 Нм)	
Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы	Төмен (1290 айн/мин)	1	2	3
	Орташа (2025 айн/мин)	4	5	6
	Жоғары (2760 айн/мин)	7	8	9

Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 1200 айн/мин-тан 2800 айн/мин-қа дейін 5 секундта және қозғалтқыш моменті 70 Нм-ден 170 Нм-ге дейін 5 секундта өзгертін жағдай орнатылады.



Сурет 5 – Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы мен моментінің жұмыс режимдеріне сай мәндерінің өсуі.



Сурет 6 – Қозғалтқыштың динамикалық режимде жұмысы кезіндегі қысым көрсеткішін және VGT компрессорының ауа шығынының басқару графигі.

Қорытынды

Белгісіздік жағдайында оқиғалардың ықтималдығы анық емес болған кезде, стохастикалық модельдер тиімді құралға айналады[1][4]. Олар әртүрлі сценарийлерде туындауы мүмкін нәтижелерді бағалап, тәуекелдерді сандық түрде болжайды[4]. Белгісіздікті басқару үшін статистикалық және математикалық модельдер арқылы тәуекелдер мен ықтимал шығындарды нақтырақ бағалау мүмкіндігі артады. Осының нәтижесінде ұйымдар басқару стратегияларын тәуекел деңгейіне қарай икемдейді. Бірақ бұл әдістер болжау аймағының ауқымы, белгісіздіктерді есепке алу интервалы, материалдық шығын және т.б. шектеулер әсеріне тәуелділігін есепке алу тиімді емес жағдайлар орын алуы мүмкін.

Белгісіздік жағдайында болжамды басқару модельдерінің даму перспективалары деректерді терең талдау, жасанды интеллект пен автоматтандыру, сценарийлік жоспарлау[5] және икемділікке негізделген модельдерге байланысты болады. Ұйымдар жаңа технологиялар мен стратегиялық әдістерді қолдану арқылы болашақтағы өзгерістерге бейімделіп, тұрақтылықты қамтамасыз ете алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Bonzanini, A. D. Mesbah, A. Di Cairano, S.** Perception-Aware Chance-Constrained Model Predictive Control for Uncertain Environments. – MITSUBISHI ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES-2021, 8 p. <https://doi.org/10.23919/acc50511.2021.9483203> .

2 **Erkan, K. Joshua, P.** Robust Model Predictive Control of Systems by Modeling Mismatched Uncertain. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 49-18 (2016) 265–269, 5 p. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.175>

3 **Rohan, S. James, H. Spencer, M. R. Marco, P.** Adaptive Robust Model Predictive Control via Uncertainty Cancellation. – LOGO GENERIC COLORIZED JOURNAL – 2017, 16 p. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2104.08261>

4 **Ahmed, A. John, L.** Adaptive learning-based model predictive control for uncertain interconnected systems: A set membership identification approach. – Science Direct Automatica Volume 171, January 2025, 111943, 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2024.111943>

5 **Lorenzo, F. Georg, S. Marko, T. Manfred, M.** Scenario and Adaptive Model Predictive Control of Uncertain Systems. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 48–23 (2015) 352–359, 8p. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.305>

6 **Philipp, B. Taouba, J. Torsten, L. Matthias, A. M.** Disturbance feedback-based model predictive control in uncertain dynamic environments. IFAC-PapersOnLine – Volume 58, Issue 18, 2024, P. 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.023>

7 **Юнусова, С. Т. Измайлова, Р. Н. Мамиров, У. Ф.** Алгоритм синтеза прогнозирующего управления электромеханическим объектом /. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 3 (107). – С. 238-241. – <https://moluch.ru/archive/107/25623> (Дата обращения: 30.10.2024).

8 **Ugo, R. Xiaojing, Z. Francesco, B.** Data-Driven Predictive Control for Autonomous Systems. – Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems – Volume 1, – 2018, – 28 p. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105215>

9 **Целигоров, Н. А. Целигорова, Е. Н. Мафура, Г. В.** Математические модели неопределённости систем управления и методы, используемые для их исследования. Научный журнал Инженерный вестник Дона Номер 4 (часть 2), 2012 г. – <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-neopredelyonnostey-sistem-upravleniya-i-metody-ispolzuemye-dlya-ih-issledovaniya>

10 **Abhishek, D.** Adaptive Model Predictive Control For Uncertain LTI System With State and Input Constraints. – Indian Institute of Technology Delhi September 2021, 138 p. – https://web.iitd.ac.in/~sbhasin/docs/thesis_abhishek.pdf

REFERENCES

1 **Bonzanini, A.D. Mesbah, A. Di Cairano, S.** Perception-Aware Chance-Constrained Model Predictive Control for Uncertain Environments. - MITSUBISHI

ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES-2021, 8 p. <https://doi.org/10.23919/acc50511.2021.9483203>

2 **Erkan, K. Joshua, P.** Robust Model Predictive Control of Systems by Modeling Mismatched Uncertain. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 49-18 (2016) 265–269, 5 P. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.175>

3 **Rohan, S. James, H. Spencer, M. R. Marco, P.** Adaptive Robust Model Predictive Control via Uncertainty Cancellation. – LOGO GENERIC COLORIZED JOURNAL – 2017, 16 p. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2104.08261>

4 **Ahmed, A. John, L.** Adaptive learning-based model predictive control for uncertain interconnected systems: A set membership identification approach. – Science Direct Automatica Volume 171, January 2025, 111943, 9 P. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2024.111943>

5 **Lorenzo, F. Georg, S. Marko, T. Manfred, M.** Scenario and Adaptive Model Predictive Control of Uncertain Systems. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 48-23 (2015) 352–359, 8 P. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.305>

6 **Philipp, B. Taouba, J. Torsten, L. Matthias, A. M.** Disturbance feedback-based model predictive control in uncertain dynamic environments. IFAC-PapersOnLine Volume 58, Issue 18, 2024, Pages 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.023>

7 **Yunusova, S. T. Izmailova, R. N. Mamirov, U. F.** Algoritm sinteza prognozirushego upravlenie electromehanicheskim obiekтом [Algorithm for synthesis of predictive control of an electromechanical object]—Molodoi uchenyi — 2016. — № 3 (107). – P. 238–241. <https://moluch.ru/archive/107/25623> (access date: 10/30/2024).

8 **Ugo, R. Xiaojing, Z. Francesco, B.** Data-Driven Predictive Control for Autonomous Systems. – Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems Volume 1, 2018, 28 p. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105215>

9 **Tseligorov, N.A. Tseligorova, E.N. Mafura, G.V.** Matematicheskie modeli neopredelonnestei system upravlenie i metody, ispolzuemyie dlia ih isledovania. [Mathematical models of control system uncertainties and methods used to study them.] Nauchnyi jurnal Injenernyi vestnik Dona Nomer 4 (chast 2) 2012 g.) <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-neopredelyonnostey-sistem-upravleniya-i-metody-ispolzuemye-dlya-ih-issledovaniya>

10 **Abhishek, D.** Adaptive Model Predictive Control For Uncertain LTI System With State and Input Constraints. – Indian Institute of Technology Delhi September 2021, 138 p. https://web.iitd.ac.in/~sbhasin/docs/thesis_abhishek.pdf

25.09.24 ж. баспаға түсті.

01.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*A. T. Kishubaeva¹, N. M. Ahmetzhan², S. B. Nazymbek³

^{1,2,3}L. N. Gumilev Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 25.09.24

Received in revised form 01.11.24

Accepted for publication 04.12.24

ANALYSIS OF PREDICTIVE MANAGEMENT MODELS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

The article examines models of predictive management in conditions of uncertainty. The research is aimed at improving the efficiency of production processes and reducing the impact of randomness. The main problem of the study is to ensure the effectiveness of control systems in relation to changes in random factors and environmental parameters. The research is aimed at finding ways to optimize management strategies, taking into account changes in external factors of influence. In the course of the study, mathematical models and algorithms were used to increase efficiency, and the features of the control system in conditions of uncertainty were considered. The results of the study show how they react to parameters and changes in control systems. These results make it possible to optimize management processes in production and engineering systems. Our research work has introduced new approaches to predictive management in conditions of uncertainty in management systems. This has led to new results aimed at improving the efficiency of production and technical process management. The results of the study show that in conditions of uncertainty, it is important to increase the adaptability and flexibility of control systems. This increases the ability of control systems to respond quickly and effectively to external changes. Such research is of great importance for improving the sustainability and efficiency of production processes, as it allows you to make strategic decisions in real time.

Keywords: predictive control, stochastic system, robust system, uncertainty, soft constraints, hard constraints.

*A. T. Kishubaeva¹, N. M. Ahmetzhan², S. B. Nazymbek³

^{1,2,3}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 25.09.24

Поступило с исправлениями 01.11.24

Принято в печать 04.12.24

АНАЛИЗ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье исследуются модели прогнозного управления в условиях неопределенности. Исследование направлено на повышение эффективности производственных процессов и уменьшение влияния случайности. Основная проблема исследования – обеспечение эффективности систем управления в отношении изменения случайных факторов и параметров среды. Исследование направлено на поиск путей оптимизации стратегий управления с учетом изменения внешних факторов воздействия. В ходе исследования были использованы математические модели и алгоритмы для повышения эффективности, рассмотрены особенности системы управления в условиях неопределенности. Результаты исследования показывают, как реагируют на параметры, изменения систем управления. Эти результаты позволяют оптимизировать процессы управления в производственных и инженерных системах. Наша исследовательская работа представила новые подходы к прогнозному управлению в условиях неопределенности в системах управления. Это привело к новым результатам, направленным на повышение эффективности управления производственными и техническими процессами. Результаты исследования показывают, что в условиях неопределенности важно повысить адаптивность и гибкость систем управления. Благодаря этому повышается способность систем управления быстро и эффективно реагировать на внешние изменения. Такие исследования имеют большое значение для повышения устойчивости и эффективности производственных процессов, поскольку позволяют принимать стратегические решения в режиме реального времени.

Ключевые слова: предсказательное управление, стохастические системы, робастные системы, неопределенность, мягкие ограничения, жесткие ограничения.

<https://doi.org/10.48081/XTQQ5433>

***Е. Н. Колесников¹, Д. М. Рахимбердинова², А. О. Юсупова³**

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2334-5146>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2985-9498>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

*e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

ӨНДІРІСТІК АСУТП ҚҰРАМЫНДАҒЫ ҮШ ФАЗАЛЫ ТРАНСФОРМАТОРДЫ ҚОРҒАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Электр энергетикалық жүйелерде үш фазалы үш орамалы трансформаторлар кең таралған. Оларда жиі кездесетін тұйықталулардың бірі-айналмалы тұйықталу (БЗ). Олардан қорғау үшін қазіргі уақытта дәстүрлі ток қорғаныстары әрдайым қолданылады. Дегенмен, олардың БЗ-ға сезімталдығы төмен. Қазіргі уақытта магниттік ток трансформаторларында үш фазалы қуат трансформаторларының жоғары сезімтал қорғаныстары пайда болды. Олар дизайны бойынша қарапайым, арзан және мұндай трансформаторды орамдарындағы барлық тұйықталулардан қорғай алады.

Бұл мақалада қорғаныс шкафын қолдана отырып, магниттік ток трансформаторларында үш фазалы күштік трансформаторды қорғауды жүзеге асыру ұсынылған.

Адам-машина интерфейсін іске асыру үшін SCADA жүйелерімен жабдықталған автоматтандырылған жұмыс орындары (АЖО) арқылы ақпаратты жинауды және технологиялық процестерді басқаруды жүзеге асыратын өнеркәсіптік контроллерлер базасындағы ақпараттық желінің құрылымы ұсынылған.

Шкафтың дизайны, оның электрлік қосылыстары сипатталған. M911E мастер-модулі, m932c интеллектуалды модулі құрамында TREI-5B-05 контроллерлерінің заманауи желісін пайдалану ұсынылды. өнеркәсіптік контроллерге негізделген қорғаныс шкафын пайдалану қорғауды өндірістік желіге біріктіруге мүмкіндік береді. Технологиялық процесті басқарудың автоматтандырылған жүйесінің

(БАЖП) құрамында қорғауды басқару қалқанынан да, сол жерде де жедел персонал басқара алады.

Кілтті сөздер: Үш фазалы трансформатор, айналмалы тұйықталу, қорғаныс шкафы, ақпараттық желі құрылымы, өндірістік желіге интеграция.

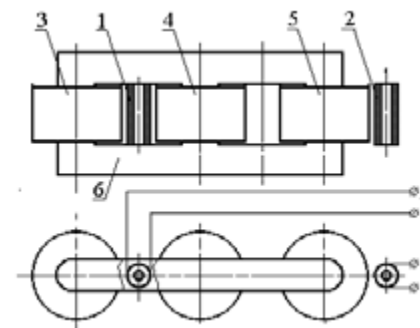
Кіріспе

Ең көп таралған электр машиналарының бірі-үш фазалы үш орамалы трансформаторлар. Олардағы ең көп кездесетін тұйықталулардың бірі бұрылыс тұйықталу (БЗ) екені белгілі [1,1-6.]. Электр тогын қорғау жеткілікті сезімталдыққа ие емес. Осыған байланысты олардан негізгі қорғаныс газды қорғау болып табылады [2,36-6],[4;5;6]. Олар жоғары сезімталдыққа ие, бірақ оларды «құрғақ» трансформаторларда қолдануға болмайды, сонымен қатар олардың жұмыс уақыты майдың температурасына және басқа да көптеген факторларға байланысты.

Сондықтан магниттік ток трансформаторларында (МТТ) жоғары сезімтал қорғаныстарды әзірлеу өзекті болып табылады.

Материалдар мен әдістері

[7,1-6],[8,1-6] 1-суретте көрсетілген айналмалы тұйықталудан қорғауды ұсынады. Осы суреттен көріп отырғанымыздай, үш фазалы трансформаторда 1 және 2 МТТ, 3, 4 және 5 фазалы А, В және С орамаларының катушкалары бар өзектерге 6 трансформатордың магниттік желісі орналастырылған.

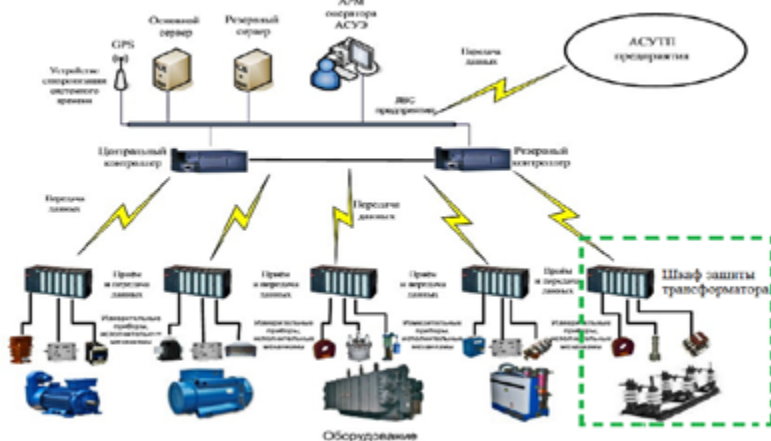


Сурет 1 – үш фазалы трансформатордың орамаларын айналмалы тұйықталудан қорғау құрылғысы

[8,2-6.]-де сипатталғандай, МТТ катушкаларын 7 және 8 терминалдармен қарсы тізбектей қосу кезінде, мұндай МТТ екі өлшеу катушкасынан шығатын ЭМӨ жұмыс режимінде нөлге тең болады. Трансформатордың орамаларында

тұйықталу пайда болған кезде [9;10], пайда болған ЭҚК қорғанысқа оның 2-3 бұрылысы жабылған кезде іске қосылуға мүмкіндік береді, бұл оның жоғары сезімталдығын тудырады.

Қазіргі уақытта барлық дерлік өндірістерде технологиялық процестерді басқарудың Орталықтандырылған автоматтандырылған жүйесі (ТП АБЖ) құрамында олардың жұмысын жұмысқа ауыстыру процесі жүргізілуде. Мұндай жүйе 2-суретте көрсетілгендей адам-машина интерфейсін іске асыру үшін SCADA жүйелерімен жабдықталған автоматтандырылған жұмыс орындары (Армалар) арқылы ақпаратты жинауды және технологиялық процестерді басқаруды жүзеге асыратын өнеркәсіптік контроллерлерге негізделген ақпараттық желінің құрылымы болып табылады.



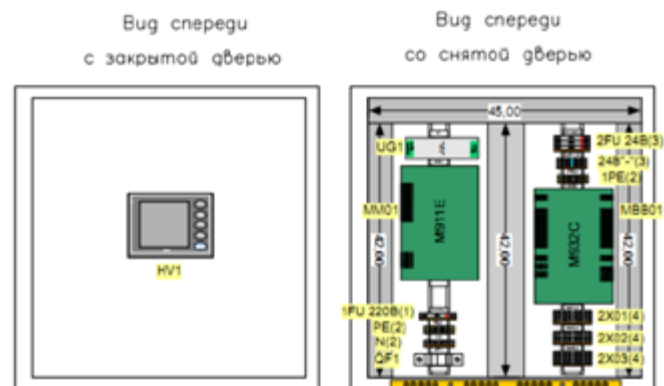
Сурет 2 – кәсіпорынның АСУТП құрылымындағы трансформаторды қорғау шкафы

МТТ-да үш фазалы трансформаторды қорғау үшін [4,5] өнеркәсіптік контроллерге негізделген қорғаныс шкафын қолдану қажет. TREI-5B-05 контроллерлерінің заманауи желісін пайдалану ұсынылады.

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған зерттеу шеңберінде (грант № AP14972779) қорғау шкафына жобалау-конструкторлық құжаттама әзірленді.

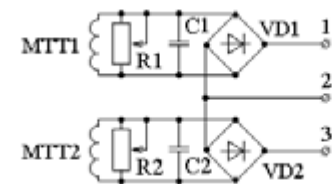
3-суретте көрсетілгендей, қорғаныс шкафы 500x400x220 өлшемді металл корпус болып табылады. Шкафта Автоматты Ажыратқышты, кернеу релесін, стартерді, TREI-5B-05 өнеркәсіптік контроллерін орнату қарастырылған:

М911Е мастер-модулі, m932c интеллектуалды модулі. қорғаныс шкафының есігінде адам-машина интерфейсін іске асыру үшін Delta DOP-as 38 операторының панелі орналасқан.



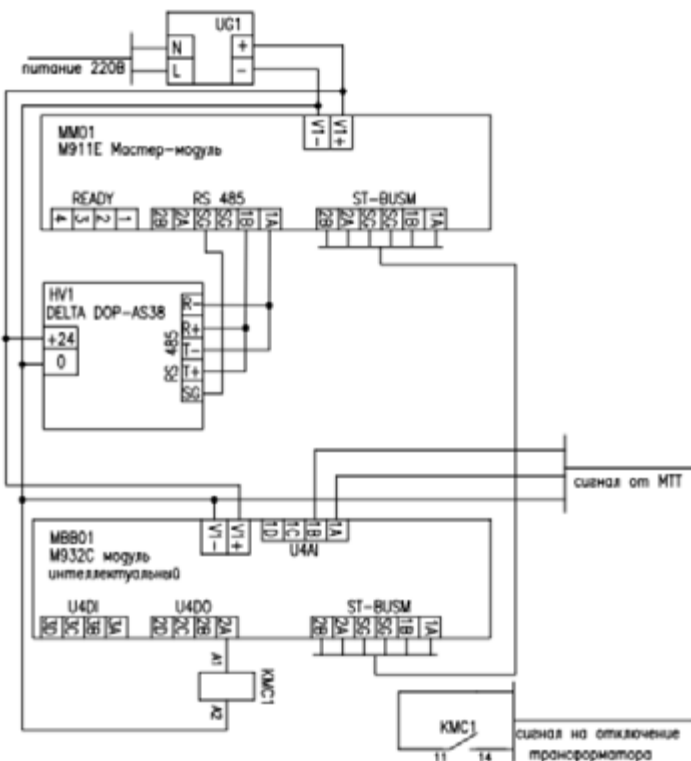
Сурет 3 – қорғаныс шкафының жалпы көрінісі

МТТ-да келтірілген ЭҚК шамасы және олардың фазалары орамаларға дейінгі арақашықтыққа қатты тәуелді болғандықтан, қорғаныста олардың орнын толтыру және қалыпты режимде туралау мүмкіндігі бар қосылыстар схемасы болуы керек.



Сурет 4 – қорғаныс шкафына МТТ электр қосылымының схемасы 4-суретте R1 айнымалы резисторлары мен C1 конденсаторларының

көмегімен туралау, сондай-ақ VD1 және VD2 көпірлерінің көмегімен және бірінші және екінші МТТ түзету мүмкіндігі бар қорғаныс шкафына екі МТТ электрлік қосылымдары көрсетілген.



Сурет 5 – қорғаныс шкафының электр схемасы

5-суретте шкаф қосылыстарының электр схемасы көрсетілген. МТТ1 және МТТ2 магниттік ток трансформаторларының сигналдары үш фазалы қуат трансформаторының қорғанысы М932С интеллектуалды Модулінің аналогтық кернеу кірісіне қосылады.

Нәтижелер және талқылау

Қорғаныс шкафының контроллерінің жұмысы берілген жұмыс алгоритміне байланысты, оған сәйкес МТТ сигналдарын қосу, жиынтық сигналды берілген нүктемен салыстыру және трансформаторды асып кеткен кезде ажырату жүзеге асырылады. Трансформаторды өшіру контроллермен басқарылатын LC1 D09M7 маркалы КМС1 стартерінің күштік контактілерінің көмегімен жүзеге асырылады.

Оператор панелінің көмегімен шкафтың есігінде ағымдағы Қорғаныс күйінің дисплейі және оны қашықтан басқару мүмкіндігі жүзеге асырылады: жұмыстан шығару, қорғаныс орнатуды конфигурациялау.

Ұсынылған контроллер MOD BUS өнеркәсіптік интерфейсмен жұмыс істеуді қолдайды, бұл оны қорғалатын трансформатордың жанында немесе кәсіпорынның басқару тақтасында орнатуға мүмкіндік береді. Интерфейс оны кез-келген өндірістің қолданыстағы АСУТП құрамына оңай қосуға мүмкіндік береді. АСУТП құрамында шкафты операторды басқарудың жоғарғы деңгейінен қашықтан басқаруға болады.

Қорытынды

1 Өзірленген қорғаныс шкафы үш фазалы күштік трансформаторды өндірістің АСУТП құрамында екі МТТ-да электр зақымдануынан қорғау құрылғысының жұмысын жүзеге асыра алады.

2 Өнеркәсіптік контроллерге негізделген қорғаныс шкафын пайдалану қорғауды өндірістік желіге біріктіруге мүмкіндік береді. Қорғаныс шкафы жергілікті және қашықтан қорғауды басқаруға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландырды (грант № AP14972779).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Казакул, А. А., Кушнарёва, Ю. А., Анализ количества работающих трансформаторов на подстанциях филиалов АО «ДРСК». Главный энергетик. 2022;10.

2 Блэкбурн, Дж. Льюс, Томас, Дж. Домин, «Релейная защита: Принципы и их применение, Четвертое издание», CRC Press, 2014.

3 Уолтер, А. Э., Теория и применение релейной защиты, Marcel Dekker Inc. Нью-Йорк, Базель, 2004.

4 Шабад, М. А. «Защита трансформаторов и распределительной сети», Энергоиздат, – 1981 [in Russian].

5 Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А. Релейная защита однофазного трансформатора на магнитных трансформаторах тока / – Павлодар: Изд-во ПГУ, – 2017 г. – 117 с. с ил.

6 Чернобровов, Н. В. Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н. В. –М. : Энергия, 1974. – 680с.

7 Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А., Колесников, Е. Н., Иннов. пат. №26738 РК. МПК H02H 7/04. Устройство защиты трехфазного трансформатора от замыканий обмоток /опубл. 15.03.13, Бюл. №3. – 3 с.

8 Колесников, Е. Н., Новожилов, Т. А., Исенов, Ж. С., Талипов О. М., «Устройство защиты трехобмоточного трансформатора на двух магнитных

трансформаторах тока» // Вестник ТООУ, Энергетическая серия, №2, 2024 г., С. 166–179. <https://doi.org/10.48081/VMFW1810>

9 **Симони, К.**, Основы электротехники [Foundations of Electrical Engineering], The Maximillan Company, Нью-Йорк, 1963.

10 **Бобров, Леонард С.**, «Основы электротехники», Oxford University Press, 2013.

REFERENCES

1 **Kazakul, A. A., Kushnaryova, Yu. A.**, Analiz kolichestva robotayushhix transformatorov na podstanciyax filialov АО «DRSK» [Analysis of the number of working transformers at substations of branches of JSC «DRSK»]. Glavny`j e`nergetik. 2022;10.

2 **Blackburn, J. Lewis, Domin, Thomas J.**, «Protective Relaying : Principles and Applications, Fourth Edition», CRC Press, 2014.

3 **Walter, A. Elmore**, Protective Relaying Theory and Applications, Marcel Dekker Inc. New York, Basel, 2004..

4 **Shabad, M. A.** «Protection of transformers of distribution networks», Energoizdat, – 1981 [in Russian].

5 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A.** Relejnaya zashhita odnofaznogo transformatora na magnitny`x transformatorax toka [Relay protection of a single-phase transformer on magnetic current transformers] / – Pavlodar: Izd-vo PGU, – 2017g. – 117 p. s il.

6 **Chernobrovov, N. V.** Relejnaya zashhita [Relay protection]. – 4-e izdanie [Text] / Chernobrovov N.V. – Moscow: E`nergiya, 1974. – 680p.

7 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Kolesnikov, E. N.**, Innov. pat. №26738 RK. МРК N02N 7/04. Ustrojstvo zashhity` trexfaznogo transformatora ot zamy`kanij obmotok [Three-phase transformer protection device against winding short circuits] / opubl. 15.03.13, Byul. №3. – 3 p.

8 **Kolesnikov, E. N., Novozhilov, T. A., Isenov, Zh. S., Talipov, O. M.**, «Ustrojstvo zashhity` trexobmotochnogo transformatora na dvux magnitny`x transformatorax toka» // Vestnik ТООУ, E`nergeticheskaya seriya, № 2, 2024 г., P. 166–179. <https://doi.org/10.48081/VMFW1810>

9 **Simonyi, K.**, Foundations of Electrical Engineering, The Maximillan Company, New York, 1963.

10 **Leonard S. Bobrow** «Foundations of electrical engineering», – Oxford University Press, 2013.

06.10.24 ж. баспаға түсті.

22.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

***Е. Н. Колесников¹, Д. М. Рахимбердинова², А. О. Юсупова³**

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 06.10.24

Поступило с исправлениями 22.10.24

Принято в печать 04.12.24

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В СОСТАВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ АСУТП

В электроэнергетических системах наибольшее распространение получили трехфазные трехобмоточные трансформаторы. Одним из наиболее часто встречающихся в них замыканий является витковое замыкание (ВЗ). Для защиты от них в настоящее время практически всегда используются традиционные токовые защиты. Однако они имеют низкую чувствительность к ВЗ. В настоящее время появились высокочувствительные защиты трехфазных силовых трансформаторов на магнитных трансформаторах тока. Они просты по конструкции, дешевы и способны защитить такой трансформатор от всех видов замыканий в их обмотках.

В данной статье предложена реализация защиты трехфазного силового трансформатора на магнитных трансформаторах тока с использованием шкафа защиты.

Представлена структура информационной сети на базе промышленных контроллеров, которая осуществляет сбор информации и управление технологическими процессами через автоматизированные рабочие места (АРМы), оснащенные SCADA системами для реализации человеко-машинного интерфейса

Описана конструкция шкафа, его электрические соединения. Предложено использовать современную линейку контроллеров TREI-5B-05, в составе мастер-модуля M911E, интеллектуального модуля M932C. Использование шкафа защиты на базе промышленного контроллера позволяет реализовать интеграцию защиты в производственную сеть. В составе автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) защита может управляться оперативным персоналом как со щита управления, так и по месту.

Ключевые слова: Трехфазный трансформатор, витковое замыкание, шкаф защиты, структура информационной сети, интеграция в производственную сеть.

*E. N. Kolesnikov¹, D. M. Rakhimberdinova², A. O. Yusupova³

^{1,2,3}Toraighyrov University, The Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 06.10.24

Received in revised form 22.10.24

Accepted for publication 04.12.24

PROTECTION DEVICE FOR A THREE-PHASE TRANSFORMER AS PART OF A PRODUCTION CONTROL SYSTEM

Three-phase transformers with three windings are common in electric power systems. One of the most common short circuits they experience is a short circuit in rotation (WC). Currently, traditional current protections are always used to protect them. However, they are less sensitive to DB. Currently, highly sensitive protections for three-phase power transformers have appeared in magnetic current transformers. They are simple in design, inexpensive and able to protect such a transformer from all short circuits in its windings.

This article presents the implementation of three-phase transformer power protection in magnetic current transformers using a protective cabinet.

To implement the human-machine interface, the structure of an information network based on industrial controllers that collect information and manage technological processes through automated workstations equipped with SCADA systems is presented

The cabinet design and its electrical connections are described. As part of the M911E main module, the m932c intelligent module, it was proposed to use a modern line of TREI-5b-05 controllers. The use of a protective cabinet based on an industrial controller makes it possible to integrate protection into the production line. As part of an automated process control system (ACS), protection can be controlled by operational personnel both from the control panel and on site.

Keywords: Three-phase transformer, winding circuit, protection cabinet, information network structure, integration into the production network.

МРНТИ 55.36.15

<https://doi.org/10.48081/MBZW6464>

***А. Б. Кудашева¹, М. Ж.Хазимов², З. А. Мансуров³**

^{1,2}Алматынський университет энергетикi и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

^{1,2,3}Институт проблем горения, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3151-5813>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>

*e-mail:kudasheva_ab@mail.ru

НОВАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОЗДУХА В МАЛОМОЩНОМ ВОДОГРЕЙНОМ КОТЛЕ

В связи с ростом стоимости энергетического топлива и ростом использования низкосортных топлив задача повышения эффективности сгорания в котлах малой мощности приобрела значительную актуальность. В странах СНГ имеются производственные мощности по выпуску котлов малой мощности. Все эти котлы используют только высококачественное топливо. Основным недостатком этих котлов является их низкий КПД, а в конструкции камеры сгорания присутствуют отрицательные характеристики: малый объем камеры сгорания и неэффективное сжигание угля.

Увеличение времени пребывания несгоревших газов и мелкодисперсных частиц в камере сгорания приводит к их полному сгоранию, тем самым снижая вредные выбросы в окружающую среду. В статье исследованы методы повышения эффективности котла за счет оптимизации его конструкции для полнослойного сгорания. Представлены результаты испытаний модернизированного водогрейного котла малой мощности с оценкой его технико-экономических показателей, свидетельствующих о повышении эффективности котла. Было проведено более глубокое и всестороннее исследование аэродинамики топочной камеры. Было создано математическая модель расчета подачи воздуха в котел для определения эйюр скоростей и избытков воздуха на колосниковой решетке топочной камеры в котлах малой мощности. В результате

определены зоны горения топлива испытывающие недостаток воздуха. Для повышения эффективности работы котла, который работает в полнослойном режиме, были приняты следующие меры: 1. оптимизация конструкции: внесены изменения в конструкцию котла, чтобы обеспечить более равномерное и полное сжигание топлива. Это повысит эффективность процесса горения; 2. улучшение теплоотвода.

Ключевые слова: водогрейный котел, твердое топливо, неподвижный слой, уголь, колосник, котлы малой мощности.

Введение

Казахстан занимает восьмое место в мире по доказанным запасам угля, которые составляют 34,2 млрд т. Это эквивалентно 3,3 % к мировым промышленным запасам угля [1]. Согласно прогнозам, общая потребность в энергетическом угле для тепло и электроэнергетики в Казахстане возрастет к 2030 году с текущих 53 млн тонн до 76 млн тонн, что представляет собой увеличение на 50 % [2]. Наряду с этим Республика Казахстан занимает десятое место в мире по объемам добычи угля, и остается одним из крупных потребителей угля несмотря на его низкое качество по составу и теплотворности.

Использование в Республике Казахстан некачественного вида топлива, как угля, связано из-за сложности газификации (отдаленность населенных пунктов, низкая плотность населения) такую обширную территорию, которая занимает 9 место по площади в мире.

Программа по газификации населения проводится в основном в тех районах, где имеются газовые месторождения [3]. Охватить всю территорию Казахстана требует больших финансовых вложений. Не запланировано выделение достаточных средств для решения декларированных целей по замене угля на газ для энергогенерации, так как для решения таких задач требуются суммы на два порядка большие, в связи с отсутствием газовых магистральных трубопроводов в большинстве регионов с преимущественно «угольной» генерацией. В период 2015-2018 гг. было запланировано истратить на развитие газотранспортной системы около 134 млн. долларов США, которые после девальвации обменного курса в 2015 г. сократились до 74 млн. долларов [4]. Таких средств явно недостаточно для развития газотранспортной системы в тех регионах, где ее нет совсем или ее мощности недостаточны для «газовой» генерации.

Следовательно, обеспечение теплоснабжением населения приводит к употреблению угля в виде дешевого основного топлива в котлах малой мощности. В населенных пунктах отдаленных районов, где отсутствует

газификация (в основном к ним относятся территорий с холодным климатом) используются децентрализованные система теплоснабжения, так как транспортные потери тепла являются очень высокими [5]. В основном, где используются децентрализованные системы теплоснабжения по себестоимости доступны котлы малой или средней мощности при послыном сжигании угля [6].

Цель исследований, как предполагается, сосредоточена на усовершенствовании конструкции топочной камеры водонагревательных твердотопливных котлов малой мощности с повышением эффективности теплоотдачи. Эта важная задача, которая может принести несколько значительных выгод: увеличение КПД котла и более полное выжигания топлива в топочной камере котла.

Задачи исследований:

- создать математическую модель расчета подачи воздуха в котел для определения эпюр скоростей и избытков воздуха на колосниковой решетке топочной камеры в котлах малой мощности;

- определить зоны горения топлива испытывающие недостаток воздуха и предложить метод улучшения сжигания топлива.

Материалы и методы

В расчетах выбран твердое топливо Карагандинский каменный уголь марки КЖ. Состав топлива: Ср = 52,3 %, Нр = 3,5%, Ор = 4,9 %, Нр = 1 %, Sp = 0,8 %, Wp = 7,5 %, Ap = 25%. Низшая теплота сгорания: 22395,3 кДж/кг. Принималось что процесс изотермический: $t_w = 20^{\circ}\text{C}$, $t_w = \text{const}$. Определили теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания твердого топлива: 5,885 м³/кг. Расход топлива: $V_k = 43 \text{ кг/ч} = 0,012 \text{ кг/с}$. Скорость воздуха на входе в колосниковую решетку: 0,3 м/с .

Моделирование тепловых процессов осуществлялось с использованием численного метода, основанного на уравнениях Навье-Стокс [7;8]:

Уравнение движения:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v * \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + \left(\zeta + \frac{\mu}{3} \right) \nabla (\nabla * v) + f, \quad (1)$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla * (\rho v) = 0, \quad (2)$$

где:

ρ – плотность; v – скорость; t – время; μ – коэффициент вязкости;

ζ – динамическая вязкость (также называется «второй вязкостью»)

f – другие силы, действующие на тело, такие как гравитация
 ∇ – оператор Гамильтона, частная производная по координатам.
 Для трехмерного пространства верна формула:

$$\nabla = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right\}, \quad (3)$$

∇^2 – скалярное произведение двух операторов Гамильтона :

$$\nabla^2 = \nabla \cdot \nabla = \left\{ \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right\}, \quad (4)$$

Моделирование началось с использования модели «черный ящик», где внешнему наблюдателю доступны только входные и выходные параметры, а структура и внутренние процессы системы остаются неизвестными. Результаты моделирования продемонстрировали, что учет макроскопических и микроскопических параметров критически важен для точного прогнозирования поведения системы. Использование численных методов на основе уравнений Навье-Стокса позволяет эффективно моделировать сложные тепловые и динамические процессы, что является необходимым для разработки и оптимизации конструкций и автоматизации топливных модульных установок.

Два из наиболее предложенных методов для исследования потока, основанных Эйлером: это метод конечных разностей элементов и метод конечных разностей [9;10]. В исследовании использован метод конечных разностей.

Метод конечных разностей заключается в создании разностной сетки. Пространство, представляющее собой прямоугольный параллелепипед, делится на небольшие равные части (прямоугольные параллелепипеды). Затем исходное уравнение преобразовывается в уравнение для каждого элемента сетки. Для решения преобразованных уравнений требуется знать скорость потока на каждой из стенок сетки. [11;12;13]. После расчета поля скорости другие представляющие интерес величины, такие как избыток воздуха могут быть найдены с помощью динамических уравнений и соотношений. При помощи современной программы SolidWorks FlowSimulation [14], в разделе Эпюра скорости PropertyManager отображается диапазон скоростей в метрах в секунду с цветовой кодировки. Траектории выделяются цветами в соответствии со значениями скоростей в каждой точке. Траектории являются касательными к скорости потока в каждой точке (рисунок 1,2).

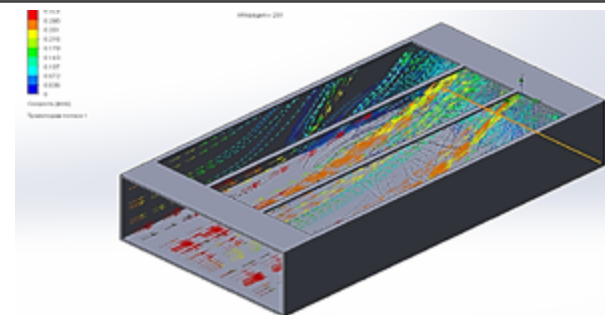


Рисунок 1 – Эпюра распределение скорости воздуха над колосниковой решетке

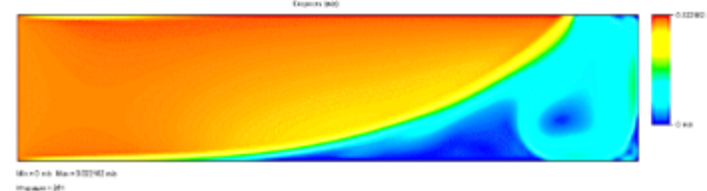


Рисунок 2 – Эпюра скоростей воздуха на колосниковой решетке

После как нам известны эпюра скоростей воздуха на колосниковой решетке с помощи математических преобразований можно определить избытки воздуха в каждой точки топочной камеры и выделить зоны с недостаточным избытком воздуха (рисунок 3).

$$w_i \Rightarrow \dot{V}_i^B = w_i * b * c \quad (6)$$

$$\dot{V}_{ip}^B = \dot{V}_i^B / B_{к} \quad (7)$$

$$\alpha_i = \dot{V}_{ip}^B / V_o^B \quad (8)$$

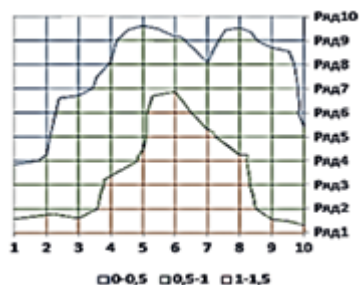


Рисунок 3 – Распределение избытков воздуха на колосниковой решетке котла

Результаты математической модели расчета подачи воздуха в котел через колосниковую решетку можно описать по рисунку 3, согласно которому выделены зоны избытков воздуха 1-1,5, 0,5-1 и 0-0,5. Зоны где избыток воздуха ниже 1-го испытывают недостаток воздуха, и тем самым наблюдается ухудшенный процесс горения топлива. В котлах малой мощности неравномерная или неэффективная подача воздуха дает особенно плохие результаты сгорания, приводит к засорению поверхностей нагрева, увеличивает выбросы в дымовых газах. Для решений этой проблемы необходимо подавать воздух равномерно с достаточным количеством воздуха для горения.

Для устранения этих недостатков разработана инновационная технология сжигания твердого топлива в неподвижном слое, исключаящие эти потери.

Экспериментальные исследования. Для проведения лабораторных исследований разработана лабораторный образец усовершенствованной конструкции котла малой мощности с эффективным теплоснабжением для слоевого сжигания угля, который представлен на рисунке 4 .

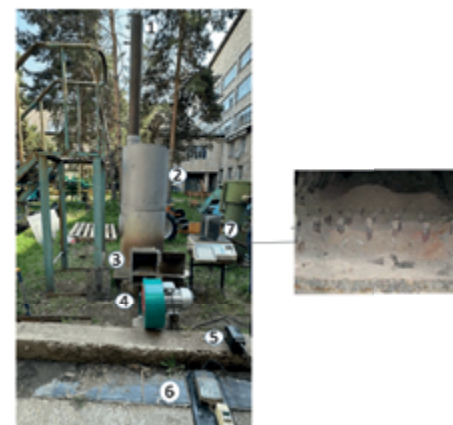
В рамках исследования был предложен новый отопительный котел, отличающийся от традиционных конструкций следующими ключевыми особенностями:

– Корпус котла включает топку и водяной контур, обеспечивающие эффективный теплообмен;

– Колосник расположен в нижней части топки и представляет собой глухую решетку без щелей, что позволяет исключить необходимость постоянной очистки от золы;

– Воздушный коллектор, состоящий из труб с отверстиями, установлен в топке над колосниковой решеткой. Этот коллектор обеспечивает

равномерную подачу воздуха в зону горения, улучшая процесс сгорания и повышая эффективность котла.



1 – дымовая труба; 2 – котел; 3 – топочная камера с воздухопадающими форсунками; 4 – вентилятор с электродвигателем; 5 – частотный преобразователь; 6 – электрический счетчик; 7 – уголь

Рисунок 4 - Лабораторный образец котла

Результаты испытаний показали, что данная конструкция котла приводит к более эффективному и стабильному горению, снижению потерь тепла и улучшению общего КПД системы. Инновации в конструкции, такие как глухой колосник и распределенная подача воздуха, способствуют лучшему контролю над процессом сгорания и минимизации образования золы. [15; 16].

Результаты и обсуждение

Процентное содержание мелких частиц угля попавшие в зольник через колосниковую решетку составило около 13%. Чем больше потери угля через колосник, тем больше расход топлива. К примеру : 1 тонна угля стоит 15 000 тенге, а потери по фракционному составу (до 10 мм) в среднем составляет 13 %. Убыток с каждой тонны угля составляет $13\% \cdot 15\,000$ тенге = 1 950 тенге. Следовательно целесообразно сделать колосник глухим, безщелевым. Потеря теплоты с несгоревшими топливами по предлагаемой схеме на 9% меньше, чем по классической схеме, связано с более полным сгоранием топлива, то есть исключены зоны, которые чувствует недостаток воздуха.

Выводы

По результатам расчета аналитического выражения численным методом получено графическое интерпретация математической модели

распространения поля скоростей над колосниковой решеткой при его горении. Определены зоны горения испытывающий недостаток воздуха. Для решений этой проблемы предложена усовершенствованная конструкция котла малой мощности с эффективным теплоснабжением для слоевого сжигания угля. Предлагаемая схема сжигания основана на обеспечении полноты сгорания топлива в плотном слое за счет специального коллектора для подачи воздуха в зону горения, а также уменьшения вытяжной скорости дымовых газов благодаря выполнению колосника глухим. Такие модификации повышают эффективность сжигания топлива. Эффективность усовершенствованной конструкции котла малой мощности сжигающих уголь в неподвижном слое связано с более полным сгоранием топлива, что в свою очередь повышает удельный КПД котла. Более высокий удельный КПД котла на 23% по сравнению с классической схемой.

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679995).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Бушуев, В. В.** Глобальная энергетика и устойчивое развитие. Мировая энергетика – 2050 / В. В. Бушуев, В. А. Каламанов // М: Энергия. – 2011. – 360 с.
- 2 **Письменная, У. Е.** Обеспечение устойчивого развития энергетических систем: переход от стоимости к ценности / У. Е. Письменная, Г. С. Трипольская // Энергетика. – 2020. – №1. – С. 14 – 29.
- 3 **Осипов, С. Н.** О некоторых особенностях энергоснабжения жилых зданий в отопительный период / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко // Энергетика. – 2017. – №1. – С. 77 – 96.
- 4 **Soroka, B. S.** The Fuel Certification by Heat Engineering Characteristics / B. S. Soroka, A. I. Bershadskiy // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2014. – № 2. – С. 3–13.
- 5 **Ушаков, В. Я.** Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: учеб. пособие / В. Я. Ушаков, Н. Н. Харлов, П. С. Чубик // Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – 283 с.
- 6 **Ушаков, В. Я.** Современные проблемы электроэнергетики : учебное пособие / В. Я. Ушаков // Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – 447 с.
- 7 **Choubey, G.** Effect of variation of angle of attack on the performance of two-strut scramjet combustor / G. Choubey, K. M. Pandey // International Journal of Hydrogen Energy. - 2016. – №41– P.11455–11470.

8 **Patankar, S. V.** A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows / S.V. Patankar, D.B. Spalding // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – P. 1787–1806.

9 **Meile, W.** Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the ahmed body / W.Meile, G.Brenn, A.Reppenhagen, B. Lechner, A. Fuchs // CFD Letter. – 2011. – № 3. – P.32–39

10 **Chang, W.J.** Natural convection for the melting of ice in porous media in a rectangular enclosure / W.J. Chang, D.F. Yang // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2011. – P. 2333–2348.

11 **Yuxin, Wu.** Dimensional simulation for a entrained flow coal slurry gasifier / Yuxin Wu, Jiansheng Zhang, Philip J.Smith, Hai Zhang, Charles Reid, Junfu Lv, Guangxi Yue // Energy fuels. – 2010. – № 24. – P.1156 – 1163.

12 **Parente, A.** Identification of low-dimensional manifolds in turbulent flames / Parente A., Sutherland J.C., Tognotti L., Smith P.J. // Proceedings of the Combustion institute. – 2009. – № 32. – P. 1579–1586.

13 **Shen, G.** Emission factors and particulate matter size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustions in rural Northern China / Shen G., Wang W., Yang Y., Zhu C., Min Y., Xue M., Ding J., Tao S. // Atmos. Environ. – 2010. – №44 – P. 5237–5243.

14 **Kudinov, A. A.** [Assessing the smoke-stack performance with boiler unit flue gases cooled below the dew point](#) / A. A. Kudinov, S. K. Ziganshina // Thermal Engineering. – 2024. – P. 340-347

15 Пат. №35521 Республика Казахстан. Промышленный водогрейный котел малой мощности / Урмашев Б. А., Хазимов М. Ж., Идришев К. И., Касымбаев Б. М., Хазимов К. // опубл. 18.02.2022 г.

16 **Kudasheva, A. B.** Reduction of harmful emissions in low-power water-heating solid fuel boilers KVTS-0.2 / A. B.Kudasheva, M.Zh.Khazimov // AIP Publishing. – 2023. – 7 p.

REFERENCES

- 1 **Bushuyev, V. V.** Global'naya energetika i ustoychivoye razvitiye. Mirovaya energetika – 2050 [Global energy and sustainable development. World energy – 2050] / V.V.Bushuyev, V.A. Kalamanov // M: Energiya. – 2011. – 360 p.
- 2 **Pismennaya, U. E.** Obespecheniye ustoychivogo razvitiya energeticheskikh sistem: perekhod ot stoimosti k tsennosti [Ensuring sustainable development of energy systems: moving from cost to value] / U.E. Pismennaya, G.S.Tripolskaya // Energetika. – 2020. – №1. – P.14 – 29.
- 3 **Osipov, S. N.** O nekotorykh osobennostyakh energosnabzheniya zhilykh zdaniy v otopitel'nyy period [On some features of energy supply to residential

buildings during the heating season] / S. N.Osipov, V. M. Pilipenko // Energetika. – 2017. – № 1. – P.77 – 96.

4 **Soroka, B. S.** The Fuel Certification by Heat Engineering Characteristics / B. S. Soroka, A. I. Bershadskiy // Energeticheskiye tekhnologii i resursosberezeniye. – 2014. – № 2. – P. 3–13.

5 **Ushakov, V. Ya.** Potencial og energy saving and its realization at the enterprises TEK [Potencial of energy saving and its realization at the enterprises FPC]: ucheb.posobie / V. Ya.Ushakov, N.N.Kharlov, P.S.Chubik // Tomsk: Izd-vo TPU, 2015. – 283 p.

6 **Ushakov, V. Ya.** Sovremennyye problemy elektroenergetiki : uchebnoye posobiye [Modern problems of electric power industry: textbook] / V. YA. Ushakov // Tomsk : Izd-vo TPU, 2014. – 447 p.

7 **Choubey, G.** Effect of variation of angle of attack on the performance of two-strut scramjet combustor / G. Choubey, K. M. Pandey // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – № 41. – P. 11455–11470.

8 **Patankar, S. V.** A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows / S.V. Patankar, D.B. Spalding // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – P.1787–1806.

9 **Meile, W.** Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the ahmed body / W.Meile, G.Brenn, A.Reppenhagen, B. Lechner, A. Fuchs // CFD Letter. – 2011. – № 3. – P.32–39

10 **Chang, W.J.** Natural convection for the melting of ice in porous media in a rectangular enclosure / W.J. Chang, D.F. Yang // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2011. – P. 2333–2348.

11 **Yuxin, Wu.** Dimensional simulation for a entrained flow coal slurry gasifier / Yuxin Wu., Jiansheng Zhang, Philip J.Smith, Hai Zhang, Charles Reid, Junfu Lv, Guangxi Yue. Three // Energy fuels. – 2010. – № 24. – P.1156 – 1163.

12 **Parente, A.** Identification of low-dimensional manifolds in turbulent flames / Parente A., Sutherland J.C., Tognotti L., Smith P.J. // Proceedings of the Combustion institute. – 2009. – № 32. – P. 1579–1586.

13 **Shen, G.** Emission factors and particulate matter size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustions in rural Northern China / Shen G.,Wang W.,Yang Y., Zhu C., Min Y., Xue M.; Ding J.; Tao S. //Atmos. Environ. – 2010. – № 44 – P. 5237–5243

14 **Kudinov, A. A.** [Assessing the smoke-stack performance with boiler unit flue gases cooled below the dew point](#) / A. A. Kudinov, S. K. Ziganshina // Thermal Engineering. – 2024 – P. 340-347

15 Pat. №35521 Respublica Kazakhstan. Promyshlenniy vodogreyniy kotel maloi monosti [Industrial water heating boiler of low power] / Urmashhev B.

A., Khazimov M.ZH., Idrishev K.Zh, Kasymbaev B.M., Khazimov K. // publ. 18.02.2022 g.

16 **Kudasheva, A. B.** Reduction of harmful emissions in low-power water-heating solid fuel boilers KVTS-0.2 / A. B. Kudasheva, M.ZH. Khazimov // AIP Publishing. – 2023. – 7 p.

Поступило в редакцию 05.09.24

Поступило с исправлениями 08.11.24

Принято в печать 04.12.24

*А. Б. Кудашева¹, М. Ж.Хазимов², З. А. Мансуров³

^{1,2} Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика мен байланыс университеті), Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

^{1,2,3}Жану проблемалары институты, Қазақстан Республикасы, Алматы қ. 05.09.24 ж. баспаға түсті.

08.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТӨМЕН ҚУАТТЫ СУ ҚАЗАНДЫҚТАРЫНДА АУА ЖЕТКІЗУДІҢ ЖАҢА БАСҚАРУ СҰХБАСЫ

Энергетикалық отынның қымбаттауына және төмен сұрыпты отынды пайдаланудың өсуіне байланысты төмен қуатты қазандықтарда жану тиімділігін арттыру міндеті өзекті болып тұр. ТМД елдерінде қазандық өндірісінде е өнімділік төмен. Бұл қазандықтардың барлығы тек жоғары сапалы отынды пайдаланады. Бұл қазандықтардың негізгі кемшілігі олардың төмен тиімділігі болып табылады, ал жану камерасының дизайны мынандай теріс сипаттамаларға ие: жану камерасының шағын көлемі және көмірдің тиімсіз жануы.

Жанбаған газдар мен ұсақ бөлшектердің жану камерасында болу уақытын ұлғайту олардың толық жануына әкеледі, осылайша қоршаған ортаға зиянды шығарындыларды азайтады.Мақалада барлық отын жану үшін оның конструкциясын оңтайландыру арқылы қазандықтың тиімділігін арттыру әдістері қарастырылады. Жаңартылған KVTC-0,2 су жылытқыш қазандығының сынақтарының нәтижелері қазандықтың тиімділігін арттыру оның техникалық-экономикалық көрсеткіштерін бағалаумен ұсынылған. Жану камерасының аэродинамикасын тереңірек және жан-жақты зерттеу жүргізілді. Төмен қуатты қазандардағы жану камерасының

торындағы жылдамдық диаграммаларын және артық ауаны анықтау үшін қазандыққа ауа беруді есептеу үшін математикалық модель құрылды. Нәтижесінде ауа жетіспейтін отынның жану аймақтары анықталды. Толық жану режимінде жұмыс істейтін қазандықтың тиімділігін арттыру үшін келесі шаралар қабылданды: 1. конструкцияны оңтайландыру: біркелкі және толық жануды қамтамасыз ету үшін қазандықтың, оның ішінде оттықтар мен жылу алмастырғыштардың конструкциясына өзгерістер енгізілді. Бұл жану процесінің тиімділігін арттырады; 2. жақсартылған жылу диссипациясы.

Кілтті сөздер: су жылытқыш қазандық, қатты отын, тұрақты төсем, көмір, тор, төмен қуатты қазандықтар.

*A. B. Kudasheva¹, M. Zh. Khazimov², Z. A. Mansurov³

^{1,2}Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

^{1,2,3}Institute of Combustion Problems, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 05.09.24

Received in revised form 08.11.24

Accepted for publication 04.12.24

NEW SCHEME OF CONTROL AND AIR SUPPLY IN A LOW-POWER HOT WATER BOILER

The increase in the efficiency of energy production and the utilization of low-grade fuels in low-power boilers are crucial for sustainable development. The efficiency of steam production in conventional boilers is generally low in developing countries. These boilers primarily use high-quality fuels, and their main drawback is the low efficiency associated with their combustion. The fundamental limitation of these boilers lies in their low efficiency, but improvements can be achieved through the design of the combustion chamber, particularly in terms of its small volume and the independent combustion of coal.

Increasing the residence time of unburned gases and fine particulate matter in the combustion chamber leads to their complete combustion, thereby reducing harmful emissions into the environment. The article explores methods of increasing boiler efficiency through the optimization of its design for full-layer combustion.

The results of tests on the modernized hot water boiler KVTs-0.2 are presented, with an evaluation of its technical and economic indicators indicating an increase in boiler efficiency. A more in-depth and comprehensive study of the aerodynamics of the combustion chamber was conducted. A mathematical model for calculating air supply to the boiler was developed to determine velocity contours and excess air on the cowl grate of the combustion chamber in low-power boilers. As a result, fuel burning zones experiencing a lack of air were identified. To enhance the efficiency of a boiler operating in a full-layer combustion mode, the following measures were taken: 1. Structural optimization: Changes were made to the boiler's design, burners, and heat exchangers to ensure more uniform and complete fuel combustion, thus improving the efficiency of the combustion process; 2. Improvement of heat dissipation.

Keywords: hot water boiler, solid fuel, fixed bed, coal, cowl, low-power boiler.

<https://doi.org/10.48081/GOVU1901>

***Т. Қ. Қойшиев¹, А. М. Айтұғанова², А. Жансерікқызы³,
Д. А. Қасенов⁴**

^{1,2,3,4}Қорқыт Ата атындағы Қызылорда Университеті, Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5320-6243>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-5157>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6164-6775>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5517-6832>

*e-mail: temirkhan.koishiyev@gmail.com

КҮН ЭНЕРГИЯСЫН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ СУТЕГІ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ДАМУ

Жұмыста жаңғыртылатын энергия көздерін қолдана отырып сутегін өндіру әдістері және оны көлік, өнеркәсіп сияқты әртүрлі секторларда қолдану қарастырылады. Күн энергиясын пайдалану арқылы сутегі өндіру технологиясы - болашақта жасыл энергетиканы дамытудағы маңызды бағыттардың бірі. Бұл технология сутегіні алуда парниктік газдардың шығарылуын айтарлықтай азайтып, энергия ресурстарын тиімді пайдалану мүмкіндігін береді. Зиянды газдар шығарындыларын азайту тәсілі ретінде электролиз жүйесі арқылы сутегі өндіру үшін күн энергиясын пайдалану жолдарына сараптама жасалынған.

Күн энергиясының біз үшін ең қолжетімді болуы әлеуеті бар және күн энергиясынан сутегін өндіру тұрақты энергияның түпкілікті шешімі ретінде қарастырылады. Сондай-ақ, жұмыста сутекті өндіру үшін күн энергиясын пайдаланудың әртүрлі әдістері қарастырылады. Математикалық модельдеу әдісімен университет кешенінің негізінде орнатылған PV-күн фотоэлектрлік станциясының бетіне түсетін күн энергиясының жалпы мөлшері есептеледі

Күн сутегін өндірудің ең көп таралған әдісі болып табылады фотоэлектрлік күн станциялары судың электролизімен біріктірілген. Электролиздің негізгі артықшылықтары-оны кең ауқымда қолдануға болады. Жел және күн энергиясы сияқты жаңғыртылатын көздерді қамтитын қауіпсіз және икемді таратылған энергия

жүйелерін қамтамасыз етудің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады[1,10-б.]. Бұл бағыттағы технологияларды дамыту әрі жетілдіру Қазақстанның энергетика саласында инновациялық қадам жасауына және экологиялық таза технологияларға қошуына ықпал етеді.

Кілтті сөздер: электролиз жүйесі, жасыл сутегі, сутегі технологиясы, күн электр станциялары, су, көмірқышқыл газы.

Кіріспе

Бүгінде көптеген елдер қоршаған ортаға зиянды шығарындыларды, ең алдымен көмірқышқыл газы шығарындыларын азайту үшін жаңа мақсаттар қосу үшін өздерінің энергетикалық стратегияларын жаңартуда. Бұл үрдіс, ең алдымен, жаһандық климаттың өзгеруіне байланысты. Энергетика секторы парниктік газдар шығарындыларына ең көп үлес қосады, бұл жалпы шығарындылардың 42 % – дан астамын құрайды [2;3].

Энергетикалық секторда сутегі мен аммиакты пайдалану көбірек назар аударады; жарияланған жобалар 2030 жылға қарай шамамен 3.5 ГВт әлеуетті қуат жинайды [4,142-6.].

Судың мол қорын және жаңғыртылатын электр энергиясын пайдалана отырып, электрхимия арқылы жаңғыртылатын энергия көздерінен алынған электр энергиясын пайдаланатын сілтілі сутегі электролизі болашақта сутекті өндірудің негізгі әдістерінің бірі болып саналады [5;6].

Сутекті өндірудің, сақтаудың және тасымалдаудың әртүрлі әдістерінің көптігі өнеркәсіптік тұтынушыларға отын жеткізудің тиімді әдістерін анықтау үшін ең перспективалы «сутегі жеткізу тізбегін» таңдау тәсілдерін әзірлеу қажеттілігін талап етеді [7;8].

Жұмыста сутегі өндірісі үшін судың электролизін күн қондырғысымен бірге қалай қолдануға болатындығы қарастырылады.

Күн энергиясын сұраныс бойынша электр энергиясын өндіруге немесе жылу мен электр энергиясын бірлесіп өндіруге пайдалануға болады.

Материалдар мен әдістері

Зерттеудің теориялық маңыздылығы маңызды ғылыми нәтижелерді түсіну және сутегі өндірісінің принциптері.

Әдістемелік тұрғыдан алғанда, судың электролизінде болатын процестер туралы білім алу, оның қондырғының тиімділігіне әсер ететін негізгі факторларды анықтау [9;10].

Жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалана отырып, жаңа технологияларды құру және қолданыстағы сутегі өндіру процестерін жақсарту үшін оның әлеуетіндегі практикалық маңыздылығы, бұл өз

кезегінде энергетика мен экологияға қатысты өзекті мәселелерді шешуге ықпал етеді.

Осыған сүйене отырып, сутекті өндірудің әртүрлі әдістерінің блок-схемасы жасалынды (1-сурет).



1 – сурет – Сутекті өндірудің әртүрлі әдістері.

Қазіргі уақытта сутектің көп бөлігі метанды бумен реформалау әдісімен өндіріледі, онда қатты қыздырылған будың көмегімен табиғи газ H₂ және CO₂-ге айналады. Бұл жағдайда өндіріс процесі «сұр» сутекті тудырады, яғни атмосфераға көмірқышқыл газының бөлінуі.

Бұл мәселенің шешімі CO₂ ұстау және сақтау технологиясы болып табылады, дегенмен бұл алынған «көк» сутектің құнын арттырады «көгілдір» қазба отынынан сутекті өндірудің перспективалық әдісі-пиролиз, ол жоғары температурада (500-800 °C) органикалық заттардың ыдырауы болып табылады [6,12-б.].

Салыстыру нәтижелеріне сүйене отырып, біз PV-күн станциясына негізделген сутекті өндіру үшін суды электролиздеу әдісін таңдалды, оның бірқатар артықшылықтары бар [11;12].

2-суретте көрсетілген PV- фотоэлектрлік күн станциясының жалпы технологиялық схемасы.



Сурет 2 – PV- фотоэлектрлік күн станциясының жалпы технологиялық схемасы

Нәтижелер және талқылау

Күн радиациясынан күн электр энергиясын алудың бірнеше әдістері бар, мысалы, фотоэлектрлік жүйелер, орталық жылу қабылдау жүйелері бар күн энергиясы жүйелері, параболалық және параболалық цилиндрлік күн концентраторлары [13;14].

Есептеу университет кешенінің базасында орнатылған PV-күн фотоэлектрлік станциясының бетіне түсетін күн энергиясының жалпы мөлшері:

- Қызылорда қ.;
- Географиялық координаттары;
- Ендік: 44.51 солтүстік ендік;
- Бойлық -65.31 шығыс бойлық.

Егер фотоэлектрлік күн батареялары көкжиекке белгілі бір бұрышпен орнатылса, онда көлбеу бетке түсетін күн энергиясының орташа айлық тәуліктік мөлшерін формула бойынша табуға болады:

$$E_n = R \cdot E \tag{1}$$

мұндағы E-көлденең бетке түсетін күн энергиясының орташа айлық тәуліктік жалпы мөлшері;

R-көлбеу және көлденең беттерге түсетін Күн радиациясының орташа айлық тәуліктік мөлшерінің қатынасы.

Көлденең жазықтықтан көлбеу жазықтыққа оңтүстік бағытта қайта есептеу коэффициенті тікелей, шашыраңқы және шағылысқан күн радиациясына сәйкес келетін үш компоненттің қосындысына тең:

$$R = (1 - \frac{E_p}{E}) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2)$$

мұндағы E_p -көлденең бетке түсетін шашыраңқы күн сәулесінің орташа айлық тәуліктік мөлшері;

$\frac{E_p}{E}$ - шашыраңқы күн сәулесінің орташа айлық тәуліктік үлесі;

R_n - көлденең бетінен көлбеу бетке тікелей күн радиациясын есептеудің орташа айлық коэффициенті;

β -күн батареясының бетінің принтердің көкжиегіне көлбеу бұрышы рельефтің ендігі;

ρ -жер бетінің және оның айналасындағы денелердің шағылысу коэффициенті (альбедо), әдетте қыс үшін 0.7 және Жаз үшін 0.2.

Тікелей күн сәулесінің көлденең бетінен көлбеу бетке ауысуының орташа айлық коэффициенті:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_m + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_m \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}, \quad (3)$$

- жердің ендігі; град

- күн батареясының көкжиекке көлбеу бұрышы, град;

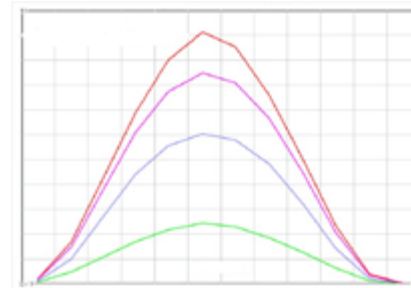
- айдың орташа күнінде күннің ауытқуы (Жер мен күннің орталықтарын байланыстыратын сызық пен оның экватор жазықтығына проекциясы арасындағы бұрыш), град;

τ - сағат бұрышы, $K=150/сағ.$;

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot \frac{284 + n}{365}), \quad (4)$$

n – 1 қаңтардан бастап есептелген күннің реттік нөмірі (жылдың әр айы үшін орташа есеп айырысу күнінің нөмірі).

Қызылорда облысындағы стационарлық күн панельдерінің бетіндегі күн радиациясының келуін математикалық модельдеу Shadow Analyzer бағдарламасында есептелген (3-сурет).



Сурет 3 – Стационарлық күн панельдерінің бетіндегі күн радиациясының келуі (Қызылорда қ.)

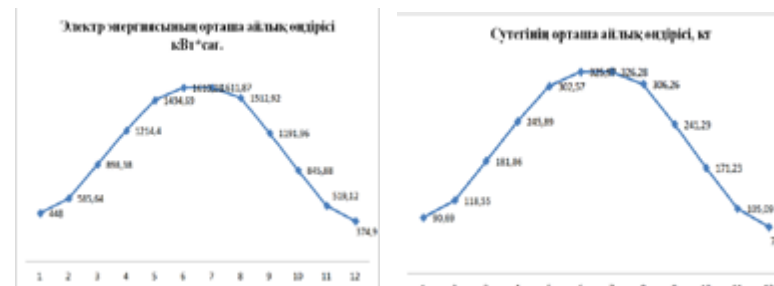
Мұнда:

- Қызыл қисық-қалыпты бетіндегі тікелей күн радиациясы, кВт/м²;
- Көк қисық-көлденең бетіндегі тікелей күн радиациясы, кВт/м²;
- Жасыл қисық-көлденең бетке толық диффузиялық күн радиациясы (оның ішінде жер мен аспан арасындағы шағылысу), кВт/м²;
- Күлгін қисық-көлденең бетіндегі жалпы Күн радиациясы, кВт/м².

5 - суретте автономды университеттің PV-күн станциясынан орташа айлық электр энергиясын өндіруді қамтамасыз етеді.

Өйткені ол болашақта тікелей сутегі мен оттегіні өндіру мақсатында су электролизерін қуаттандыру үшін пайдаланылатын болады.

Бұл жүйелер белгілі бір икемділікке ие, өйткені шығу фотоэлементтерден электр энергиясы да, электролизерден сутегі де болуы мүмкін.



Сурет 4 –Автономды PV-күн станциясынан электр энергиясын орташа айлық өндіру, кВт сағ/ай және сутегінің орташа айлық өндірісі, кг

Күн энергиясынан сутегі алу үшін электролиз кондырғысының өнімділігін техникалық бағалау.

Күн электролизері стандартты температура мен қысымда сағатына 170 литр сутегі мен 85 литр оттегін өндіруге қабілетті [3].

E_a анодының тепе-тендік потенциалын келесідей көрсетуге болады:

$$E_a = E_{O_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{O_2}^{0.5} a_{H_2O}}{a_{OH^-}^2} \quad (5)$$

E_c катодының тепе-тендік потенциалын келесідей көрсетуге болады:

$$E_c = E_{H_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{H_2O}^2}{a_{H_2}^2 a_{H^+}} \quad (6)$$

мұндағы a - белсенділік.

25 °С температурада және 1 атм қысымда суды ыдырату үшін қажетті минималды кернеу 1.229В құрайды. Бұл идеалды жағдай үшін H₂ жану жылуының 83,7 %-ы электр қуатын пайдалану керек, қалғаны сырттан жылумен қамтамасыз етіледі.

Изотермиялық жағдайларда 1.47В кернеуде (термотермиялық кернеу деп аталады) сутегі өндірісінде 100 % конверсия тиімділігіне қол жеткізуге болады [15;16].

Сутекті алу үшін қанша энергия қажет болатынын техникалық бағалау:



Су молекуласының массасы 18 грамм. Су молекуласындағы сутектің массасы $2 \times 100 / 18 = 11.11\%$, ал оттегі $16 \times 100 / 18 = 88.89\%$ құрайды. Бұл сутегі мен оттегінің қатынасы бір литр суда болады [8;17].

Бұл 1000 грамм суда 111.11 грамм сутегі және 888.89 грамм оттегі бар дегенді білдіреді. Бір литр сутектің салмағы 0,09 г, ал бір литр оттегінің салмағы 1,47 г.

Осыдан бір литр судан $111.11 / 0.09 = 1234.44$ литр сутегі және $888.89 / 1.47 = 604.69$ литр оттегі алуға болады. Осылайша, бір грамм суда 1.23 литр сутегі бар.

1000 литр сутекті өндіру үшін энергия тұтыну 4 кВт•сағ, ал бір литр үшін – 4 Вт•сағ.

Бір грамм Судан 1.234 литр сутегі алуға болатындықтан, бір грамм сутекті өндіру үшін $1.234 \times 4 = 4.94$ Вт•сағ қажет [6, 14-б.]. 1 кг сутегі алу үшін 4.94 кВт * сағ қажет болады.

Қорытынды

Зерттеудің практикалық маңыздылығы, алынған нәтижелер мен әзірленген технологиялар әр түрлі салаларда пайдалы болуы мүмкін, бұл тұрақты дамуға және экологиялық қауіпсіздікке ықпал етеді.

Сутектің таза энергия тасымалдаушысы ретіндегі артықшылықтары өте көп, өйткені ол энергияны тұтынудың барлық түрлерін байланыстыра алады, жалпы интеграцияны, икемділікті және тиімділікті қамтамасыз етеді.

Зерттеу барысында бірқатар маңызды нәтижелер мен шешімдер алынды:

- сутегі өндірісінің әртүрлі әдістерін және осы саладағы шетелдік ғалымдардың қол жеткізген жетістіктерін талдау және салыстыру жүргізілді;
- күн энергиясы арқылы сутекті алу үшін құрылымдық схема жасалды;
- электролиз қондырғысының көмегімен сутегін алу үшін PV-күн станциясының жұмыс тиімділігін бағалау жүргізілді;
- алынған электролиз технологиясынан сутекті алу үшін қанша энергия қажет.

PV-күн станциясындағы жұмыс тәжірибесі бізге Қызылорда облысының орташа статистикалық климаттық сипаттамалары бойынша күн электр станциясының ең ықтимал жұмыс режимдерін таңдауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер болашақта Қазақстанда сутегі технологиясын құрудағы ғылыми-техникалық тұжырымдаманың негізін құра алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Қойшиев, Т. Қ.** «Жаңғыртылатын энергия көздері» – Алматы : Издательство стандартов, 2013 г. – 465 б.

2 National Energy Technology Laboratory // «Technologies for Hydrogen Production» – Текст: электронный // [сайт]. – URL:

3 «Развитие солнечной энергетики в России» [Электронный ресурс]: Энерг. центр – Москва : Мега Дом, 2011. – Режим доступа: <http://www.energycenter.ru/razdel/1/>

4 **Койшиев, Т. К., Бахтиярова, У. М.** «Оценка выработки электрической энергии солнечной станции 3 МВт на юге Казахстана с использованием базы данных по солнечной радиации NASA» // Сибирская академическая книга – 2017 – 141–147 с.

5 **Койшиев, Т. К., Жармагамбетова, М. С., Егзекова, А. Т., Калиев, Ж.Ж.** «Создание на базе казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева солнечной электрической станции» Материалы XLII Международной научно-практической конференции в рамках реализации Послания Президента РК Н. Назарбаева «Новые

возможности развития в условиях четвертой промышленной революции». Том 3, 2018 г. – 169–174 с.

6 **Schultz, K., Herring, S., Levis, M., Summers, W.** «The hydrogen reaction» // Ibid, 2018 – 10–15 p.

7 **Канарев, Ф. М., Подобедов, В. В., Тлишев, А. И.** «Электролитическая ячейка низкоамперного электролизера для получения водорода и кислорода из воды» // Монография 9-е издание, Краснодарск, изд. Кубарный Гос. Аграрный Университет, 2021 г. – 41 с.

8 **Miller, A.I.** «Launching hydrogen» // Nuclear Engineering International. – 2015. – Vol. 50, №612. – 16–19 p.

9 **Жуков, В. В.** «Электрохимическое накопление энергии для возобновляемых источников и балансировки сети. Глава 9 – Масштабное хранилище энергии водорода» // Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 129–142 с.

10 **Zimmerman, A. H.** (ed). «Nickel-Hydrogen Batteries Principles and Practice» // The Aerospace Press, El Segundo, California, 2022 –12–32 p.

11 **Удалов, С.Н.** «Производство водорода методом электролиза, Глава 7 – Варианты хранения водорода, включая ограничения и проблемы» // Москва, Изд. ГЭТМ, 2010. – 273–309 с.

12 **Goldstein, S., Vitart, X.** «General comments about the efficiency of the iodinesulphur cycle coupled to a high temperature gas cooled reactor» // ISJAE. –2014. – № 3. – 45–47 p.

13 **Жуков, В. В.** «Устойчивое производство водорода, Параграф 2.7 – Хранение и распределение водорода» // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 84-88 с.

14 Водородная энергетика. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://lepfed.narod.ru/>

15 **Устищенко, А.** «Возобновляемая энергетика в Казахстане» // Изд. Kazenergy, 2011 г. – № 2– 58–9 с.

16 Қазақстанда баламалы және жаңғыртылатын энергетиканы дамыту жөніндегі 2013–2020 жылдарға арналған іс-шаралар жоспары Қазақстан Республикасының Үкіметінің 2013 жылғы 25 қаңтардағы № 43 Қаулысы. <http://adilet.zan.kz/>

17 **Жолдаякова, С., Абуов, Е., Жакупов, Д., Сулейменова, Б., Ким, А.** «Казахстан на пути к водородной экономике» // ADBI Working Papers. – 2023 г. – №1344. – 66–70 с.

REFERENCES

1 **Kojshiev, T. K.** «Zhangyrtlyatyn jenergiya kozderi» [«Renewable energy sources»]– Almaty : Izdatel'stvo standartov, 2013 g.– 465 p.

2 National Energy Technology Laboratory. «Technologies for Hydrogen Production» – Tekst: jelektronnyj. [sajt]. – URL:

3 «Razvitie solnechnoj jenergetiki v Rossii» [«Development of solar energy in Russia»] [Electronic resource]. Jenerg. centr – Moskva: Mega Dom, 2011. – Rezhim dostupa: <http://www.energycenter.ru/razdel/1/>

4 **Kojshiev, T. K., Bahtijarova, U. M.** «Ocenka vyrabotki jelektricheskoy jenerгии solnechnoj stancii 3 MVt na juge Kazahstana s ispol'zovaniem bazy dannyh po solnechnoj radiacii NASA»[«Assessment of the electric power generation of a 3 MW solar plant in the south of Kazakhstan using the NASA solar Radiation database»]. Sibirskaja akademicheskaja kniga – 2017 – 141–147 p.

5 **Kojshiev, T. K., Zharmagambetova, M. S., Egzekova, A. T., Kaliev, Zh. Zh.** «Sozdanie na baze kazahskoj akademii transporta i kommunikacij imeni M. Tynyspaeva solnechnoj jelektricheskoy stancii» Materialy XLII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah realizacii Poslanija Prezidenta RK N. Nazarbaeva «Novye vozmozhnosti razvitija v uslovijah chetvertoj promyshlennoj revoljucii»[«New development opportunities in the context of the Fourth Industrial Revolution»]. Том 3. – 2018 P. – 169–174 p.

6 **Schultz, K., Herring, S., Levis, M., Summers, W.** «The hydrogen reaction». Ibid, 2018 – 10–15 p.

7 **Kanarev, F. M., Podobedov, V. V., Tlishev, A. I.** «Jelektroliticheskaja jachejka nizkoampernogo jelektrolizera dlja poluchenija vodoroda i kisloroda iz vody»[Electrolytic cell of a low-ampere electrolyzer for producing hydrogen and oxygen from water]. Monografija 9-e izdanie, Krasnodarsk, izd. Kubarnyj Gos. Agrarnyj Universitet, 2021 P. – 41 p.

8 **Miller, A. I.** «Launching hydrogen». Nuclear Engineering International. – 2015. – Vol. 50, № 612. – 16–19 p.

9 **Zhukov, V. V.** «Jelektrohimičeskoe nakoplenie jenerгии dlja vozobnovljaemyh istočnikov i balansirovki seti. Glava 9 - Masshtabnoe hranilishhe jenerгии vodoroda»[Electrochemical energy storage for renewable sources and network balancing. Chapter 9 – Large-scale storage of hydrogen energy]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, – 129–142 p.

10 **Zimmerman, A. H.** (ed). «Nickel-Hydrogen Batteries Principles and Practice». The Aerospace Press, El Segundo, California, 2022 –12–32 p.

11 **Udalov, S.N.** «Proizvodstvo vodoroda metodom jelektroliza, Glava 7 – Varianty hranenija vodoroda, vključaja ogranichenija i problemy»[Hydrogen Production by Electrolysis, Chapter 7 – Hydrogen storage options, including limitations and challenges]. Moskva, Izd. GJeTM, 2010. – 273–309 p.

12 **Goldstein, S., Vitart, X.** «General comments about the efficiency of the iodinesulphur cycle coupled to a high temperature gas cooled reactor». ISJAE. –2014. – № 3. – 45–47 p.

13 **Zhukov, V. V.** «Ustojchivoe proizvodstvo vodoroda, Paragraf 2.7 – Hranenie i raspredelenie vodoroda»[Sustainable hydrogen production, Paragraph 2.7 – Storage and distribution of hydrogen]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2015. – 84–88 p.

14 Vodorodnaja jenergetika [Hydrogen energy]. [Eelectronic resource]. Rezhim dostupa: <http://lepfed.narod.ru/>

15 Ustimenko, A. «Vozobnovljajemaja jenergetika v Kazahstane»[«Renewable energy in Kazakhstan»]. Izd. Kazenergy, 2011 P. – № 2– 58–59 p.

16 Қазақстанда баламалы және зһанартылатын jenergetikany damyту zhөnindegі 2013–2020 zһyldarға арналған is-sharalar zhospary Қазақстан Respublikasynуң Ykimetіnің 2013 zһylyғу 25 қаңtardary № 43 Қаулысы[3.action plan for the development of alternative and renewable energy in Kazakhstan for 2013–2020 resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated January 25, 2013 No. 43.]. [Eelectronic resource]. – <http://adilet.zan.kz/>

17 **Zholdajakova, S., Abuov, E., Zhakupov, D, Sulejmenova B., Kim, A.** «Kazakhstan na puti k vodorodnoj jekonomike»[«Kazakhstan on the way to a hydrogen economy»]. ADBI Working Papers.–2023 P. – №1344. – 66–70 p.

08.10.24 ж. баспаға түсті.

21.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Т. К. Койшиев¹, А. М. Айтуганова², А. Жансерікқызы³, Д. А. Касенов⁴

^{1,2,3,4}Қызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Поступило в редакцию 08.10.24

Поступило с исправлениями 21.11.24

Принято в печать 04.12.24

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В работе рассматриваются методы производства водорода с использованием возобновляемых источников энергии и его применение в различных секторах, таких как транспорт, промышленность. Технология производства водорода с использованием солнечной энергии – одно из важнейших направлений в развитии зеленой энергетики в будущем. Данная технология позволяет эффективно использовать энергоресурсы, значительно снижая выбросы парниковых газов при получении водорода. Были проанализированы способы использования

солнечной энергии для производства водорода с помощью системы электролиза как способа сокращения выбросов вредных газов.

Солнечная энергия имеет потенциал быть наиболее доступной для нас, и производство водорода из солнечной энергии рассматривается как окончательное решение для устойчивой энергии. В работе также рассматриваются различные методы использования солнечной энергии для производства водорода. Методом математического моделирования вычисляется общее количество солнечной энергии, поступающей на поверхность фотоэлектрической фотоэлектрической станции PV-солнечной, установленной на базе университетского комплекса

Солнечный водород является наиболее распространенным методом производства фотоэлектрической солнечные станции в сочетании с электролизом воды. Основные преимущества электролиза заключаются в том, что его можно использовать в больших масштабах. Является ключевым компонентом в обеспечении безопасных и гибких распределенных энергетических систем, которые включают возобновляемые источники энергии, такие как ветровая и солнечная энергия [1,10-б.]. Развитие и совершенствование технологий в этом направлении будет способствовать инновационному шагу Казахстана в энергетической отрасли и переходу на экологически чистые технологии.

Ключевые слова: система электролиза, зеленый водород, водородная технология, солнечные электростанции, вода, углекислый газ.

*Т. К. Koishiev¹, А. М. Aituganova², А. Zhanserikkyzy³, D. A. Kassenov⁴

^{1,2,3,4}Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Received 08.10.24

Received in revised form 21.11.24

Accepted for publication 04.12.24

DEVELOPMENT OF HYDROGEN PRODUCTION TECHNOLOGY USING SOLAR ENERGY

The paper discusses methods of hydrogen production using renewable energy sources and its application in various sectors such as transport, industry. The technology of hydrogen production using solar energy is one of the most important directions in the development of green energy in the future. This technology allows efficient use of energy resources, significantly reducing greenhouse gas emissions during the production of hydrogen. The

methods of using solar energy to produce hydrogen using an electrolysis system as a way to reduce emissions of harmful gases were analyzed.

Solar energy has the potential to be the most affordable for us, and the production of hydrogen from solar energy is seen as the ultimate solution for sustainable energy. The paper also discusses various methods of using solar energy to produce hydrogen. The total amount of solar energy supplied to the surface of a PV-solar photovoltaic plant installed on the basis of the university complex is calculated using mathematical modeling

Solar hydrogen is the most common method of producing photovoltaic solar plants in combination with electrolysis of water. The main advantages of electrolysis are that it can be used on a large scale. It is a key component in ensuring safe and flexible distributed energy systems that include renewable energy sources such as wind and solar energy [1,10-б.].The development and improvement of technologies in this direction will contribute to the innovative step of Kazakhstan in the energy sector and the transition to environmentally friendly technologies.

Keywords: electrolysis system, green hydrogen, hydrogen technology, solar power plants, water, carbon dioxide.

МРНТИ 44.37.29

<https://doi.org/10.48081/VNRR3045>

***Н. Б. Құттыбай¹, О. Б. Байболов², Н. Ж. Қошқарбай³,
Э. П. Ершов⁴, А.Б. Болатбек⁵**

^{1,2,3,4,5}Қазақский Национальный Университет имени Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5723-6642>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7802-9577>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2334-3249>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2267-0365>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7613-5507>

*e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С КОНТРОЛЛЕРОМ ОТММ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ОСП

Повышение эффективности фотоэлектрических систем является важной задачей, особенно в условиях частичного затенения, которое снижает производительность солнечных панелей. Традиционные методы отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) часто сталкиваются с проблемой фиксации на локальных максимумах, что ограничивает их эффективность. Решение этой проблемы имеет критическое значение для увеличения энергетической отдачи солнечных установок, особенно в условиях переменной освещенности. В данной работе исследуется применение метаэвристического алгоритма «Оптимизация социальных пауков» (ОСП) для отслеживания ТММ в фотоэлектрических системах. Основная задача работы заключалась в нахождении глобальной точки максимальной мощности в условиях частичного затенения. Экспериментальные результаты показали, что алгоритм обеспечивает высокую точность отслеживания ТММ с эффективностью до 98,72 % при различных уровнях освещенности. Применение SEPIC-преобразователя позволило стабилизировать выходное напряжение и минимизировать пульсации, что улучшило общую производительность системы. Алгоритм продемонстрировал устойчивую работу при частичном затенении панелей, что особенно

важно для реальных условий эксплуатации. Внедрение алгоритма может значительно повысить энергоэффективность и надежность фотоэлектрических установок, открывая перспективы для дальнейшего развития методов оптимизации в солнечной энергетике.

Ключевые слова: солнечная энергетика, точка максимальной мощности, глобальная оптимизация, SEPIC-преобразователь, энергоэффективность.

Введение

Возрастающий мировой спрос на возобновляемые источники энергии делает фотоэлектрические системы важным элементом распределенных энергетических систем [1]. Несмотря на широкое распространение и очевидные преимущества, фотоэлектрические системы сталкиваются с серьезными проблемами, среди которых низкий КПД и высокая зависимость от внешних факторов, таких как количество поступающей солнечной радиации, температура солнечной панели, старение компонентов и условия нагрузки. Эти факторы оказывают существенное влияние на количество электроэнергии, производимой солнечными панелями, и, как следствие, на общую эффективность системы [2; 3].

Существуют несколько методов повышения эффективности солнечных панелей [4; 5]. Во-первых, системы отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) помогают панелям работать на максимальной мощности, автоматически настраивая их под условия освещения и температуры панели [6]. Во-вторых, установка панелей на солнечные трекеры позволяет им следить за движением солнца, увеличивая количество получаемой энергии [7]. В-третьих, концентрирующие фотоэлектрические системы используют линзы или зеркала для фокусировки солнечного света на маленькие, но высокоэффективные элементы [8]. Наконец, разработка новых материалов для панелей может значительно улучшить их способность преобразовывать солнечный свет в электричество [9].

Последние исследования показывают, что усилия направлены на повышение выходной мощности модуля с использованием алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ). Применение ОТММ контроллеров не только позволяет максимизировать выработку энергии, но и продлевает срок службы всей системы [10].

В последние десятилетия было предложено множество алгоритмов управления для отслеживания ТММ, включая методы возмущения и наблюдения, инкрементальной проводимости, паразитной емкости, постоянного напряжения и искусственного интеллекта. Традиционные методы, такие как возмущения и наблюдения, обеспечивают удовлетворительные

результаты и просты в реализации. В то же время методы, основанные на искусственном интеллекте, обладают более высокой точностью, но требуют сложной реализации [11]. Традиционные методы отслеживания точки максимальной мощности (ТММ) зачастую оказываются неэффективными в условиях частичного затенения поверхности солнечных панелей. Частичное затенение приводит к образованию нескольких локальных максимумов на характеристике мощности-напряжения (P-V), что существенно усложняет задачу точного нахождения глобального ТММ [12]. В таких условиях стандартные алгоритмы ОТММ могут зафиксироваться на локальных максимумах, что приводит к снижению общей эффективности системы. Поэтому для работы в условиях частичного затенения требуется разработка и внедрение сложных и адаптивных алгоритмов, основанных на искусственном интеллекте и метаэвристических подходах [13]. Эти алгоритмы обладают способностью анализировать и адаптироваться к динамически меняющимся условиям освещенности, обеспечивая точное отслеживание глобальной точки максимальной мощности (ТММ) даже в сложных условиях многомодальных характеристик. Искусственный интеллект и метаэвристические методы, такие как генетические алгоритмы, рой частиц и алгоритмы стаи птиц, позволяют оптимизировать процесс поиска ТММ, избегая ловушек локальных максимумов и обеспечивая более высокую эффективность работы фотоэлектрических (ФЭ) систем. Эти инновационные подходы открывают новые возможности для повышения надежности и производительности солнечных энергетических установок, особенно в условиях, где традиционные методы не дают удовлетворительных результатов.

В данной работе разработан и исследован новый метаэвристический алгоритм, получивший название «Оптимизация социальных пауков» (ОСП) [14], который был применен в системе отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) для фотоэлектрических систем. Алгоритм ОСП был специально адаптирован для решения задачи поиска глобальной точки максимальной мощности в условиях как равномерного, так и неравномерного освещения солнечных панелей.

Материалы и методы

Концепция отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) является ключевым аспектом оптимизации работы фотоэлектрических систем, так как позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию при изменяющихся условиях окружающей среды. Характеристики солнечного элемента значительно зависят от таких факторов, как освещенность, температура и частичное затенение. Освещенность определяет короткозамкнутый ток ($I_{кз}$), который пропорционально уменьшается при снижении уровня инсоляции, и, как следствие, смещает

точку максимальной мощности (рисунок 1а). Температура также оказывает значительное влияние: с ее увеличением напряжение холостого хода ($U_{хх}$) уменьшается пропорционально, тогда как короткозамкнутый ток снижается логарифмически, что приводит к изменению характеристик солнечного элемента (рисунок 1б).

Частичное затенение представляет собой одну из наиболее серьезных проблем для эффективной работы ФЭ систем. Когда один или несколько последовательно соединенных модулей оказываются в тени, возникает дисбаланс в распределении солнечной энергии между модулями. Это приводит к значительному снижению общей производительности всей системы, поскольку затененные модули начинают ограничивать ток, который могут производить незатененные модули. Для минимизации этих негативных эффектов часто используются байпасные диоды, которые помогают обойти затененные участки и уменьшить потери мощности. Однако даже при использовании байпасных диодов необходима высокоэффективная система отслеживания глобальной ТММ, которая сможет обеспечить оптимальную работу системы в сложных условиях освещения (рисунок 2).

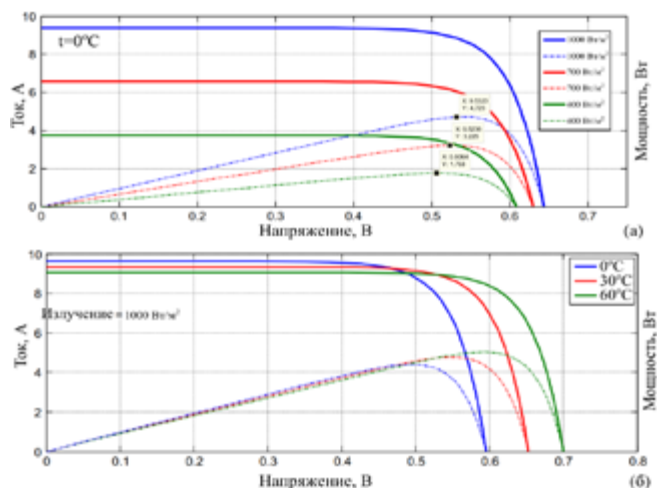


Рисунок 1 – Влияние освещенности и температуры на характеристики солнечного элемента

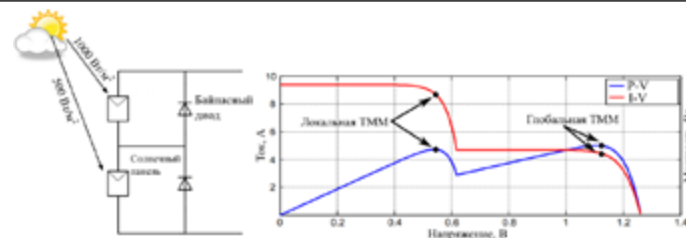


Рисунок 2 – Влияние частичного затенения на производительность фотоэлектрических систем

В этом исследовании особое внимание было уделено применению алгоритма ОСП для решения задачи нахождения глобальной точки максимальной мощности в условиях частичного затенения. Алгоритм ОСП показал высокую эффективность в таких условиях, демонстрируя устойчивость к ложным срабатываниям на локальных максимумах, которые часто возникают из-за неравномерного освещения. Алгоритм уверенно находил и поддерживал глобальную точку максимальной мощности, что позволяет значительно повысить общую эффективность PV системы даже в условиях сложного освещения, где традиционные методы отслеживания ТММ оказываются менее эффективными.

Алгоритм ОСП это метаэвристический алгоритм оптимизации, который моделирует поведение социальных пауков для поиска оптимальных решений в многомерных пространствах. В основе алгоритма лежит идея, что пауки на паутине могут взаимодействовать друг с другом, используя вибрации, чтобы совместно находить источники пищи. В контексте нашей задачи это означает нахождение глобальной точки максимальной мощности (ТММ) солнечной панели. ТММ является ключевой характеристикой, которая определяет максимальную мощность, которую может выработать солнечная панель при определенных условиях освещенности и температуры. Алгоритм ОСП помогает эффективно исследовать пространство возможных решений и найти оптимальную точку, где выходная мощность панели достигает своего максимума. Ниже приводится описание алгоритма с объяснениями (рисунок 3).

На первом этапе необходимо задать значения для основных параметров алгоритма, таких как: размер популяции (количество пауков); максимальное количество итераций; вероятность мутации; коэффициенты управления движением пауков. Эти параметры задают основу для работы алгоритма. Далее создается популяция пауков, где каждый паук является агентом, представляющим потенциальное решение задачи. Для каждого паука

выделяется память для хранения информации: позиция паука на паутине (то есть значение возможного решения); соответствующая функция (которая определяет качество решения); последняя обнаруженная сильная вибрация. Каждому пауку назначается начальная целевая вибрация которая соответствует его текущему положению на паутине. Цикл повторяется, пока не будут выполнены условия остановки (например, достижение максимального числа итераций или требуемой точности). Внутри цикла выполняются следующие остальные действия. Для каждого паука в популяции вычисляется значение соответствующей функции, которая в нашем случае соответствует мощности, вырабатываемой солнечной панелью при текущих параметрах. На основе вычисленного значения соответствующая функция паук создает вибрацию, которая распространяется по паутине. Интенсивность вибрации зависит от качества текущего решения (чем лучше решение, тем сильнее вибрация). Каждый паук оценивает интенсивность вибраций, поступающих от всех других пауков, и выбирает самую сильную из них. Если интенсивность выбранной вибрации больше, чем у текущей целевой вибрации, то паук обновляет свою целевую вибрацию. Затем обновляется коэффициент движения паука, который влияет на то, как паук будет перемещаться по паутине. Генерируется случайное число. Если случайное число превышает определённый порог обновляется маска измерений, которая направляет движение паука. Генерируется новая позиция паука на основе текущей целевой вибрации и маски измерений. Паук выполняет случайное блуждание в окрестностях новой позиции. Если новое положение нарушает ограничения задачи (например, физические ограничения солнечной панели), выполняется корректировка для приведения решения в допустимые рамки. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет достигнута глобальная точка максимальной мощности или другие условия остановки. В конце алгоритм возвращает лучшее найденное решение.



Рисунок 3 – Алгоритм оптимизации социальных пауков для нахождения глобальной точки максимальной мощности

Результаты и обсуждение

В рамках экспериментальных исследований была проведена серия испытаний с использованием следующих устройств: симулятор фотоэлектрической панели Chroma 62150H, драйвер на MOSFET-транзисторах, датчики тока и напряжения, контроллер dSpace, управляющий преобразователем, и преобразователь постоянного тока (рисунок 4). Для тестирования предложенного алгоритма оптимального слежения за точкой максимальной мощности использовался SEPIC-преобразователь. Этот тип преобразователя постоянного тока обеспечивает стабилизацию выходного напряжения и позволяет изменять его относительно входного уровня (как увеличивая, так и уменьшая). При этом выходное напряжение сохраняет ту же полярность, что и входное, что упрощает проектирование систем и снижает необходимость в дополнительных элементах для коррекции полярности. Благодаря своей конструкции SEPIC-преобразователь демонстрирует низкий

уровень пульсаций на входе и выходе, что улучшает электромагнитную совместимость системы и снижает помехи для других компонентов.

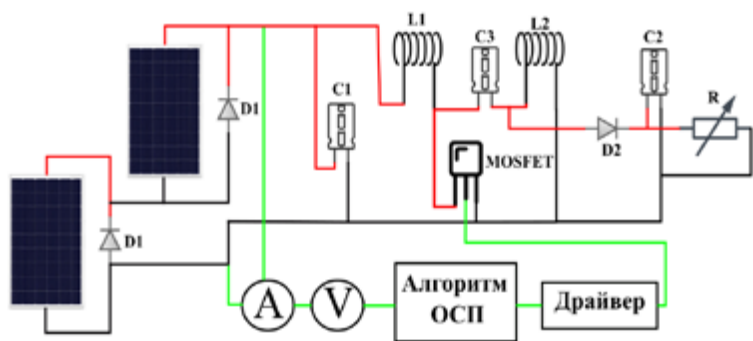


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки для тестирования алгоритмов оптимизации

Характеристики SEPIC-преобразователя, включая данные о величинах электронных компонентов равно: C1, C2 – 1000 мкФ; C3 - 330 мкФ; L1, L2 - 470 мкГн; R – 10 Ом; Частота управления транзистором – 25 КГц (рисунок 5). В ходе моделирование и экспериментов были использованы две солнечные панели производства Sun Power с общей мощностью 200 Вт. Напряжение и ток в точке максимальной мощности составляли 20 В и 5 А соответственно. Напряжение холостого хода достигало 23,9 В, а ток короткого замыкания – 5,4 А (рисунок 6).



Рисунок 5 – Преобразователь SEPIC

Эксперименты проводились при различных уровнях солнечного излучения. В первом эксперименте интенсивность излучения для первой

панели составляла 1000 Вт/м², а для второй – 300 Вт/м² (рисунок 7а). В результате эксперимента были получены графики зависимости тока и мощности от напряжения. Разработанный алгоритм ОСП корректно находил точку максимальной мощности и стабилизировал выходную мощность системы. Эффективность работы алгоритма составила 98,72 %. Выходные параметры были следующими: мощность – 96 Вт, напряжение – 19,23 В, ток – 4,99 А. Во втором эксперименте интенсивность солнечного излучения была изменена на 800 Вт/м² для первой панели и 1000 Вт/м² для второй (рисунок 7б). Эффективность отслеживания точки максимальной мощности в этом случае составила 98,5 %. Максимальные выходные параметры были: мощность – 177 Вт, напряжение – 39,85 В и ток – 4,44 А.

Применение алгоритма ОСП показало высокую эффективность работы фотоэлектрических систем. Алгоритм позволил значительно снизить потери мощности, обеспечив более стабильную и надежную работу системы. В реальных условиях, особенно при частичном затенении панелей, например, из-за облаков или теней от зданий, применение данного алгоритма может значительно повысить производительность солнечных панелей.



Рисунок 6 – Экспериментальная установка

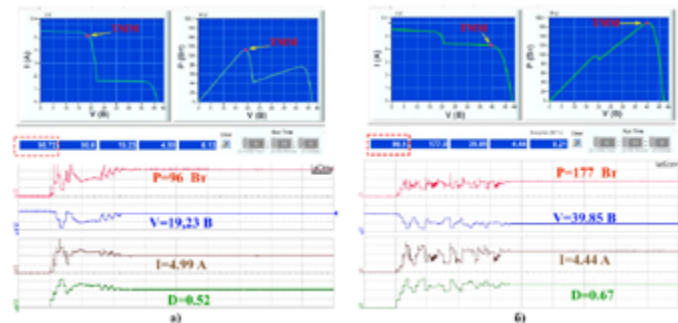


Рисунок 7 – Результаты экспериментов по отслеживанию точки максимальной мощности при различных условиях освещения

Таким образом, предложенный алгоритм ОСП представляет собой перспективное решение для улучшения работы систем ОТММ в различных условиях освещенности.

Выводы

В данном исследовании был предложен новый подход к повышению эффективности фотоэлектрических систем с использованием Социального Алгоритма Пауков (SSA). Экспериментальные результаты показали, что алгоритм обеспечивает высокую точность отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) с эффективностью до 98,72% при различных уровнях освещенности. Использование SEPIC-преобразователя позволило стабилизировать выходное напряжение и минимизировать пульсации, улучшая общую производительность системы. Алгоритм продемонстрировал устойчивую работу при частичном затенении панелей, что особенно важно для реальных условий эксплуатации. Внедрение SSA может значительно повысить энергоэффективность и надежность фотоэлектрических установок, открывая перспективы для дальнейшего развития методов оптимизации в солнечной энергетике.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP23487428 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан и выполнена в Казахском Национальном Университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Kataray T. et al.** Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges—A comprehensive review //Sustainable

Energy Technologies and Assessments. – 2023. – Т. 58. – P. 103363. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103363>

2 **Jathar L. D. et al.** Comprehensive review of environmental factors influencing the performance of photovoltaic panels: Concern over emissions at various phases throughout the lifecycle //Environmental Pollution. – 2023. – Т. 326. – P. 121474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121474>

3 **Bošnjaković M. et al.** Effects of Extreme Weather Conditions on PV Systems //Sustainability. – 2023. – Т. 15. – № 22. – P. 16044. <https://doi.org/10.3390/su152216044>

4 **Al-Shahri O. A. et al.** Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review //Journal of Cleaner Production. – 2021. – Т. 284. – P. 125465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125465>

5 **Hao D. et al.** Solar energy harvesting technologies for PV self-powered applications: A comprehensive review //Renewable Energy. – 2022. – Т. 188. – P. 678–697. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.066>

6 **Ali M. N. et al.** An efficient fuzzy-logic based variable-step incremental conductance MPPT method for grid-connected PV systems //Ieee Access. – 2021. – Т. 9. – P. 26420-26430. 10.1109/ACCESS.2021.3058052

7 **Kuttybay N. et al.** Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review //Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2024. – Т. 68. – P. 103879. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103879>

8 **Dosymbetova G. et al.** Modeling and simulation of silicon solar cells under low concentration conditions //Energies. – 2022. – Т. 15. – № 24. – P. 9404. <https://doi.org/10.3390/en15249404>

9 **Li X. et al.** Review and perspective of materials for flexible solar cells //Materials Reports: Energy. – 2021. – Т. 1. – №. 1. – P. 100001. <https://doi.org/10.1016/j.matre.2020.09.001>

10 **Ullah K. et al.** Fuzzy-based maximum power point tracking (MPPT) control system for photovoltaic power generation system //Results in Engineering. – 2023. – Т. 20. – P. 101466. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101466>

11 **Katche M. L. et al.** A comprehensive review of maximum power point tracking (mppt) techniques used in solar pv systems //Energies. – 2023. – Т. 16. – № 5. – P. 2206. <https://doi.org/10.3390/en16052206>

12 **Tang L. et al.** Maximum power point tracking strategy for photovoltaic system based on fuzzy information diffusion under partial shading conditions //Solar Energy. – 2021. – Т. 220. – P. 523–534. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.047>

13 **Zafar M. H. et al.** A novel meta-heuristic optimization algorithm based MPPT control technique for PV systems under complex partial shading condition

//Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021. – Т. 47. – Р. 101367.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101367>

14 **Suruli K., Pa V.** Social spider optimization algorithm-based optimized power management schemes //Electric Power Components and Systems. – 2020. – Т. 48. – №. 11. – Р. 1111–1124. <https://doi.org/10.1080/15325008.2020.1834643>

Поступило в редакцию 16.10.24

Поступило с исправлениями 18.10.24

Принято в печать 04.12.24

*Н. Б. Құттыбай¹, О. Б. Байболов², Н. Ж. Қошқарбай³,

Э. П. Еришов⁴, А.Б. Болатбек⁵

^{1,2,3,4,5}әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан

Республикасы, Алматы қ.

16.10.24 ж. баспаға түсті.

18.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ӘӨО АЛГОРИТМІ НЕГІЗІНДЕ МҚНБ КОНТРОЛЛЕРІМЕН ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Күн панельдерінің өнімділігін төмендететін беткі, біркелкі емес көлеңкелену жағдайында фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігін арттыру маңызды мәселе болып табылады. Максималды қуат нүктесін (МҚН) бақылаудың дәстүрлі әдістерінде көбінесе локалды максимумдарға тап болу мәселесі көп кездеседі, бұл олардың тиімділігін шектейді. Осы мәселені күн сәулесінің біркелкі емес түсу жағдайымен қосып шешу және фотоэлектрлік қондырғылардың энергетикалық өнімділігін арттыру маңызды мәселенің бірі болып табылады. Бұл жұмыста фотоэлектрлік жүйелердің МҚН бақылау үшін «Әлеуметтік өрмекшілерді оңтайландыру» (ӘӨО) метаэвристикалық алгоритмін қолдану арқылы зерттеу жұмыстары жүргізілген. Жұмыстың негізгі міндеті біркелкі емес көлеңкелену жағдайында максималды қуаттың глобалды нүктесін табу. Әртүрлі сәулелену деңгейінде жүргізілген тәжірибелік нәтижелер алгоритмнің 98,72% дейін тиімділікпен МҚН бақылау дәлдігін қамтамасыз ететінін көрсетті. SEPIC түрлендіргішін қолдану шығысындағы кернеуді тұрақтандыруға және пульсацияны азайтуға мүмкіндік береді. Жасалған алгоритм күн панелдерінің өнімділігін біркелкі емес көлеңкелену кезінде тұрақтандырады және шынайы жұмыс

жағдайлары үшін маңыздылығын арттырады. Зерттеу нәтижелері фотоэлектрлік қондырғылардың энергия тиімділігі мен сенімділігін едәуір арттырып, күн энергетикасында оңтайландыру әдістерінің одан әрі дамуына үлесін қосады.

Кілтті сөздер: күн энергиясы, максималды қуат нүктесі, жаһандық оңтайландыру, SEPIC түрлендіргіші, энергия тиімділігін

*N. B. Kutybay¹, O. B. Baibolov², N. J. Koshkarbay³, E. P. Yershov⁴,

A. B. Bolatbek⁵

^{1,2,3,4,5}al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 16.10.24

Received in revised form 18.10.24

Accepted for publication 04.12.24

OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH MPPT CONTROLLER BASED ON THE SSO ALGORITHM

Improving the efficiency of photovoltaic systems is an important task, especially under partial shading conditions, which reduces the performance of solar panels. Traditional maximum power point tracking (MPPT) methods often face the problem of fixation at local maxima, which limits their efficiency. Solving this problem is critical to increasing the energy efficiency of solar installations, especially under variable illumination conditions. In this paper, we investigate the application of the metaheuristic algorithm «Social Spider Optimization» (SSO) for MPP tracking in photovoltaic systems. The main objective of the work was to find the global MPP under partial shading conditions. Experimental results showed that the algorithm provides high accuracy of MPP tracking with an efficiency of up to 98.72% under different illumination levels. The use of SEPIC converter allowed us to stabilize the output voltage and minimize ripple, which improved the overall performance of the system. The algorithm demonstrated stable operation under partial shading of panels, which is especially important for real operating conditions. The implementation of the algorithm can significantly improve the energy efficiency and reliability of photovoltaic installations, opening up prospects for further development of optimization methods in solar energy.

Keywords: solar energy, maximum power point, global optimization, SEPIC converter, energy efficiency

<https://doi.org/10.48081/LTKA1105>

***У. К. Жалмагамбетова¹, М. Ж. Мусагажинов²,
О. М. Талипов³, А. П. Кислов⁴**

^{1,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4521-8172>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

*e-mail: ultuara@mail.ru

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ КАЗАХСТАНА

Для энергетического комплекса информационная безопасность является одним из важных аспектов, изучаемых в рамках обеспечения надежной и безопасной работы. Она включает в себя защиту информационных систем, данных и сетей от различных угроз, таких как кибератаки, несанкционированный доступ и утечки информации.

Традиционная технология эксплуатации и технического обслуживания сети заключается в том, что администратор пассивно ожидает сообщения о неисправности сети, а затем приступает к экстренному восстановлению. Этот метод лишен активного механизма и имеет много недостатков при устранении сбоев сетевой связи. Информационная безопасность – способность системы ее обработки обеспечивать выполнение требований к вероятностным величинам событий, характеризующихся утечкой, хищением, утратой, несанкционированным уничтожением, изменением значения, получением несанкционированной копии, блокировкой информации за заданный промежуток времени.

В этой статье рассмотрены законодательная и нормативно-правовая база в области информационной безопасности в Казахстане. На этой основе анализируются системы и средства защиты информационной безопасности, а также политика безопасности,

проведение организационных и организационно-технических мероприятий для осуществления мониторинга. Достижение высокой степени информационной безопасности возможно только на основе применения соответствующих организационных мер.

Ключевые слова: системы защиты информации, технологии, защита информации, политика безопасности, правовая база, мониторинг.

Введение

В XXI веке информационные технологии стали неотъемлемой частью различных сфер деятельности, включая производство, образование, управление, безопасность, системы связи, научные исследования, финансы, коммерцию и другие. Развитие вычислительной техники и ее широкое применение в этих областях значительно ускорили научно-технический прогресс.

С увеличением объемов данных и необходимостью их обработки в масштабе одной технической системы, роль средств вычислительной техники стала еще более значимой. К примеру ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности энергетических объектов играет мониторинг информационных систем и средств защиты.

Для обзора в области технологий мониторинга информационных энергетических систем и средств защиты информации в Казахстане на сегодняшний день можно перечислить следующие общие тенденции:

– системы мониторинга и управления энергосистемами (SCADA-системы), которые используются для сбора данных о состоянии энергетических объектов, их параметрах и режимах работы. Они позволяют оперативно реагировать на изменения в энергосистеме и предотвращать аварийные ситуации;

– дистанционное управление и контроль, позволяющие осуществлять дистанционное управление и контроль за состоянием энергетических объектов, что обеспечивает более эффективное использование ресурсов и повышает безопасность.

– интеграция с системами защиты, что позволяет оперативно реагировать на угрозы информационной безопасности и предотвращать возможные атаки;

– использование искусственного интеллекта и машинного обучения, для анализа больших объемов данных и выявления закономерностей в поведении энергосистемы. Они позволяют прогнозировать возможные аварийные ситуации и предотвращать их;

– интеграция с облачными технологиями, позволяющими обеспечить более эффективное использование ресурсов и обеспечить доступ к данным в режиме реального времени;

– применение интернета вещей (IoT), где устройства IoT используются для сбора данных о состоянии энергосистемы и передачи их в систему мониторинга энергетической системы, что позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать аварийные ситуации;

– использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения аэрофотосъемки энергообъектов и выявления возможных нарушений в их работе;

– применение геоинформационных систем для анализа пространственных данных и выявления возможных угроз безопасности энергосистемы.

Использование конкретного направления зависит от назначения информационной энергетической системы. Именно поэтому вопрос защиты информации на сегодняшний день становится наиболее актуальным и актуальным в сфере информатизации.

Учет (или механизм протоколирования) является важным инструментом обеспечения безопасности. Надежная система должна регистрировать на все события, связанные с безопасностью, а запись-ведение протокола дополняется проверкой (аудитом - анализом регистрационной информации).

Надежная вычислительная база (НВБ) - совокупность защитных линий, ответственных за реализацию политики безопасности компьютерной системы. Для оценки надежности компьютерной системы достаточно лишь рассмотреть ее вычислительную базу. Основной задачей НВБ является выполнение задачи монитора отношений, т. е. контроль за выполнением определенных операций с объектами.

Монитор доступа – это возможность контролировать согласованность каждого доступа пользователя к программам или данным со списком возможных действий. По мере усложнения сценариев кибератак стало очевидно, что традиционные сигнатурные методы не всегда в состоянии обеспечить должный уровень защиты. Именно последним обстоятельством и продиктовано стремительное развитие интереса исследователей [1] к интеллектуализации технологий распознавания киберугроз, аномалий и кибератак, в частности в задачах кибербезопасности.

В Республике Казахстан существует законодательная и нормативно-правовая база в области информационной безопасности, основой которой выступает система «Киберщит Казахстана» [2].

При проведении исследования было установлено, что системы и средства информационной безопасности в Республике Казахстан находятся в стадии развития и нуждаются в совершенствовании, поэтому работы по

обеспечению информационной безопасности объекта делятся на несколько этапов: подготовительный этап, инвентаризация информационных запасов, анализ угроз, реализация защитного плана. По окончании указанных этапов начинается эксплуатационный период [3].

Подготовительный этап необходим для создания организационной основы всех последующих мероприятий, разработки и утверждения документации, а также определения взаимоотношений участников процесса. На подготовительном этапе определяются информационные задачи системы защиты информации.

От этапа анализа угрозы зависит насколько полно и правильно проанализированы условия защиты информационных фондов, зависят результаты следующих мероприятий. Анализ угрозы состоит из: выбора анализируемых объектов и степени детализации их рассмотрения; выбора методологии оценки риска; анализа угроз и их последствий; оценки рисков; анализа защитных мер; осуществления и проверки выбранных мер; оценки остаточного риска [4; 5].

Там, где есть опасность, возникает угроза. Этап анализа угроз является центральным элементом. Отметим, что для предотвращения опасностей необходимы защитные меры, что и определяется на этапе анализа угроз, который состоит, во - первых, в выявлении возможных угроз (их идентификации) и, во-вторых, в прогнозировании - оценке причиняемого будущего вреда.

В результате выполнения данного этапа составляется перечень угроз на объекте и их классификация по степени опасности. Все это позволяет определить требования к системе защиты информации, подобрать наиболее действенные меры и средства защиты, а также определить необходимые затраты на их реализацию.

На этапе составления плана защиты выбираются соответствующие организационные и технические меры, для нейтрализации угроз, выявленных в результате проведенного ранее анализа.

Разработка защитного плана начинается с разработки функциональной схемы системы защиты информации. Для этого определяются задачи, которые выполняет система защиты, и обсуждаются требования к системе с учетом особенностей конкретного объекта. В план включаются следующие документы: политика безопасности; расположение средств защиты информации на объекте; смета затрат, необходимых для включения в работу системы защиты; календарный план осуществления организационных и технических мер защиты информации [6; 7; 8].

Материалы и методы

Информационная безопасность в Республике Казахстан подразумевает защиту информации и всей организации от преднамеренных или случайных действий, ведущих к причинению вреда ее владельцам или пользователям, при этом обеспечение информационной безопасности должно быть направлено в первую очередь на предотвращение рисков, а не на устранение их последствий. Законодательные меры в сфере информационной безопасности направлены на создание в стране законодательной базы, которая рационализирует и регулирует поведение субъектов и объектов информационных отношений, а также определяет ответственность за нарушение установленных норм [9; 10].

Существует следующая законодательная база в этой области: законы Республики Казахстан в области информационной безопасности: «О национальной безопасности», «Об информатизации», «О государственных секретах», «О персональных данных и их защите», «Об электронном документе и электронной цифровой подписи», «О связи», Уголовный кодекс Республики Казахстан, Кодекс Республики Казахстан «Об административных правонарушениях», Единые требования в области информационно-коммуникационных технологий и обеспечения информационной безопасности, Концепция кибербезопасности («Киберщит Казахстана») [3].

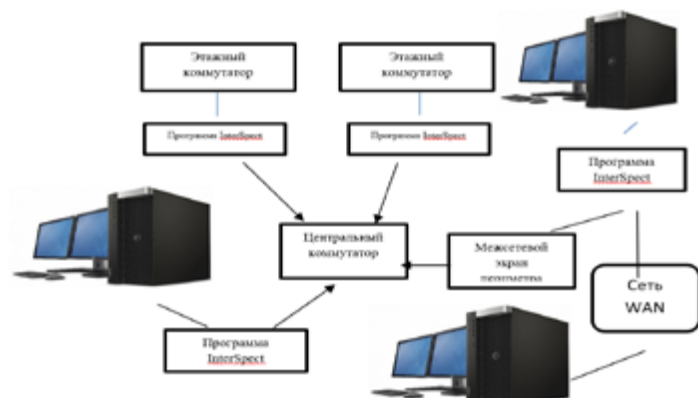


Рисунок 1 – Топология системы информационной безопасности в сети [3].

Риски могут быть вызваны следующими эффектами:

- отказы и сбой аппаратуры;
- плотины на линиях связи под воздействием внешней среды;
- человеческие ошибки как часть системы;
- системные и системно-технические ошибки обработчиков;

строительные, алгоритмические и программные ошибки; аварийные ситуации.

Частота отказов и сбоев аппаратуры увеличивается при выборе и проектировании слабой системы относительно надежности работы аппаратуры. Плотины на линиях связи зависят от правильности выбора мест размещения технических средств по отношению друг к другу и аппаратуре соседних систем [7].

Результаты и обсуждение

Система информационного мониторинга и управления сетью связи на большинстве предприятий является относительно отсталой, что приводит к неспособности предприятий сформировать интегрированную информационную бизнес-платформу [8]. В настоящее время платформы поддержки эксплуатации сетей связи и управления техническим обслуживанием многих телекоммуникационных предприятий в основном используют режим управления, продвигаемый национальной сетью и провинциальной сетью. Среди них системы мониторинга сети и безопасности, такие как IMS и ISS, в основном используют платформы, развернутые национальной сетью и провинциальной сетью.

Однако телекоммуникационным предприятиям не хватает специального интегрированного централизованного решения для мониторинга работы сети связи. Разработка такой платформы позволит предприятиям эффективнее управлять эксплуатацией и техническим обслуживанием своих сетей связи.

Необходимо учесть все требования и особенности телекоммуникационной отрасли при разработке платформы. Она должна быть интегрированной, то есть объединять в себе различные системы мониторинга и управления сетью. Централизованность платформы позволит предприятиям иметь единый инструмент для мониторинга работы своих сетей связи.

Платформа должна быть гибкой и адаптируемой к различным условиям эксплуатации сетей связи. Она должна предоставлять операторам связи всю необходимую информацию для управления эксплуатацией и техническим обслуживанием сети.

Разработка такой платформы — сложная и трудоёмкая задача, Однако результаты разработки могут принести значительные преимущества энергетическим и телекоммуникационным предприятиям, повысив эффективность их работы и улучшив качество предоставляемых услуг [11]. В системе супервизии вся управленческая работа может выполняться только персоналом по эксплуатации и техническому обслуживанию на их соответствующих терминальных узлах, что приводит к отсутствию общего представления об управлении бизнесом. На рисунке 2 показана система мониторинга безопасности.

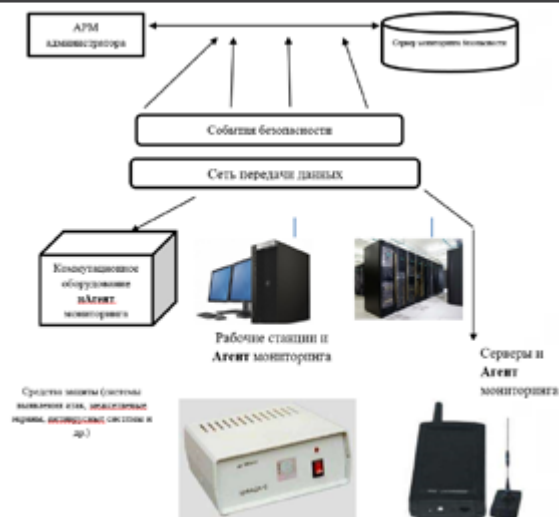


Рисунок 2–Система мониторинга информационной безопасности [4]

Политика безопасности (с точки зрения организации) правильно определяет способ использования средств учета и доступа, а также процедуры предотвращения и осмысления нарушений режима безопасности. Политика безопасности определяет совокупность правовых норм, организационных (правовых) мер, программно-технических средств и комплекса процедурных решений системы защиты информации, направленных на противодействие угрозам [12].

Достижение высокой степени информационной безопасности возможно только на основе применения соответствующих организационных мер. В состав комплекса организационных мероприятий входят работа по созданию, комплектованию и поддержанию деятельности службы информационной безопасности, подготовке системы организационно-распорядительных документов, а также ряд организационных и организационно-технических мероприятий по созданию и сопровождению работы системы защиты [13].

Проведение организационных и организационно-технических мероприятий позволит своевременно находить новые каналы утечки информации, принимать меры по их нейтрализации, полностью совершенствовать защитные системы и оперативно принимать меры против попыток нарушения режима безопасности. Проведение анализа рисков является основным этапом формирования политики безопасности [14].

После решения организационных вопросов наступает очередь программно-технических проблем - что нужно сделать для реализации

выбранной политики безопасности? В настоящее время существует множество видов средств защиты информации, стоимость которых различается по назначению и качеству. Одной из сложных задач является выбор из них того, что соответствует специфике конкретного объекта.

Политика безопасности состоит из следующих элементов: добровольное управление созданием отношений, безопасность повторного использования объектов, безопасность и принудительное управление созданием отношений [15].

Выводы

В связи с широким использованием современных информационных технологий, криптография становится незаменимым инструментом защиты информации. Использование электронных платежей, возможность передачи секретной информации через открытые сети связи, а также решение большого количества других задач информационной безопасности в компьютерных системах и информационных сетях основаны на криптографических методах. Республике Казахстан необходимо обеспечение необходимыми кадрами, которые способны расследовать подобные преступления, так как на данный момент полиция работает с информационными преступлениями не должным образом, раскрытие преступлений в области информационной безопасности имеет очень низкий уровень, в сравнении со странами Запада, где существуют специализированные отделы по борьбе с киберпреступностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ахметов, Б.Б.** Совершенствование киберзащиты информационно коммуникационных систем транспорта за счет минимизации обучающих выборок в системах выявления вторжений // *Захистінформації*. 2018, том 20. № 1. С. 12–17.

2 Об информатизации - ИПС «Әділет» (zan.kz) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1500000418>

3 Состояние защиты информации [Электронный ресурс]. – URL: Ақпараттық қауіпсіздіктің жағдайы қалай – 16.07.2020 | Strategy2050.kz – обзорно-аналитический портал Казахстана.[Date od Accessed 28.06.2022].

4 **Кожамжаров, Е.** Исследование комплексной защиты информации корпоративных сетей / Е. Кожамжаров, Л. М. Исак // *Интернаука*. – 2017. – № 22(26). – С. 7–10. – EDN ZOFPUZ.

5 **Ахметов, Б. С.** Модели для адаптивной экспертной системы по выявлению киберугроз / Б. С. Ахметов, В. А. Лахно, А. А. Досжанова [и др.] // *Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике* : Сборник статей XVIII МНТК посвященной 75-летию Пензенского

государственного университета., Пенза, 25–26 октября 2018 года. – Пенза : Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2018. – С. 84–90. – EDN YMJLSH.

6 **Кужаева, М. Р.** Проблемы информационной безопасности в компьютерных сетях / М. Р. Кужаева, А. Л. Золкин // Безопасность информационного пространства: Сборник трудов XIX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, 08–11 декабря 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 120-123. – EDN AICFNM.

7 **Богачков, И. В., Трухина, А. И., Горлов, Н. И.** Обнаружение сегментов оптического волокна с механическим напряжением в оптических кабелях с использованием рефлектометров Бриллюэна // Материалы СИБКОН–2019 (Томск) с. 1–6.

8 **Маркузе, Д.** Формула потери кривизны для оптических волокон // Журнал Оптического общества Америки 1976. С. 216–220.

9 **Малых, Ю. В., Шубин, В. В.,** Способ расчета эффективности передачи излучения от боковой поверхности изогнутого одномодового оптического волокна к приемному оптическому устройству / Вопросы атомной науки и техники. Математическое моделирование физических Процессы 2016 г. . С. 69–79.

10 **Богачков, И. В., Трухина, А. И., Горлов, Н. И.** Исследование влияния изгиба оптических волокон на рефлектограммы Бриллюэна // Материалы АРЕИЕ–2018 (Новосибирск) 1, 2 с. 140–144.

11 **Трухина, А. И., Богачков, И. В., Горлов, Н. И.** Исследования влияния изгибов в оптических волокнах различных видов на системы генерации и обработки сигналов бриллюэновских трасс в области бортовой связи Труды (Москва), 2019 г. стр. 1–5

12 **A. Minardo, R. Bernini, L. Zeni** Bend-Induced Brillouin Frequency Shift Variation in a Single-Mode Fiber IEEE Photonics Technology Letters 25, 2013, 23 С. 2362–2364

13 **Фишер, О., Тома, С., Крепаз, С.** Распределенное волоконно-оптическое зондирование для обнаружения трещин в бетонных конструкциях // Проектирование гражданского строительства. – 2019. – Вып. 1. – нет. 3-4. – С. 97–105.

14 **Ян, М.** и соавт. Влияние переноса деформации на измерения с помощью распределенных волоконно-оптических датчиков // Автоматизация в строительстве. – 2022. – Вып. 139. – С. 104262.

15 **Фэн, Х.** и соавт. Теоретические и экспериментальные исследования по обнаружению трещин с помощью распределенных волоконно-оптических

датчиков BOTDR // Журнал инженерной механики. - 2013. - Вып. 139. - нет. 12. - С. 1797-1807 гг.

REFERENCES

1 **Akhmetov, B.B.** Sovershenstvovaniye kiberzashchity informatsionno-kommunikatsionnykh sistem transporta za schet minimizatsii vyborov obuchayushchikhsya v sochetanii s vtorzheniyami [Improvement of cyber protection of information and communication systems of transport by minimizing training samples in intrusion detection systems] // Zahist informatsiy. 2018, volume 20. No. 1. P. 12–17.

2 Ob informatizatsii [About informatization] – IPS «Adilet1» (zan.kz) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1500000418>

3 Sostoyaniye informatsionnoy bezopasnosti [Information security status] [Electronic resource]. – URL: Akparattyk kauipsizdiktin zhagdayy kalay - 07/16/2020 | Strategy2050.kz m – overview and analytical portal of Kazakhstan. [Date od Accessed 28.06.2022].

4 **Kozhamzharov, E.** Research of complex information protection of corporate networks [Research of complex information protection of corporate networks] / E. Kozhamzharov, L. M. Isak // Internauka. – 2017. – № 22(26). – P. 7–10. – EDN ZOFPUZ.

5 **Akhmetov, B. S.** Modeli adaptivnoy ekspertnoy sistemy obnaruzheniya kiberugroz [Models for an adaptive expert system for detecting cyber threats] / B. S. Akhmetov, V. A. Lakhno, A. A. Doszhanova [et al.] // Problems of informatics in education, management, economics and technology : Collection of articles of the XVIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 75th anniversary of Penza State University., Penza, 25-26 October 2018. – Penza: Autonomous non-profit scientific and educational organization «Volga House of Knowledge», 2018. – P. 84–90. – EDN YMJLSH.

6 **Kuzhaeva, M. R.** Problems of information security in computer networks [Problems of information security in computer networks] / M. R. Kuzhaeva, A. L. Zolkin // Information space security : Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists, Yekaterinburg, December 08–11. 2020. – Yekaterinburg: Ural State University of Economics, 2021. – P. 120–123. – EDN AICFNM.

7 **Bogachkov, I. V., Trukhina, A. I., Gorlov, N.I.** Obnaruzheniye segmentov opticheskogo volokna s mekhanicheskim napryazheniyem v opticheskikh kabelyakh s ispol'zovaniyem reflektometrov Brillyuena [Detection of segments of optical fiber with mechanical stress in optical cables using] Brillouin reflectometers Materials SIBCON–2019 (Tomsk) pp. 1–6

8 **Marcuse, D.** Formula poter' krivizna dlya opticheskikh kabeley [Curvature loss formula for optical fibers] Journal of the Optical Society of America 1976. P. 216–220

9 **Malykh, Yu.V., Shubin, V. V.** Sposob rascheta effektivnosti peredachi signalov ot paneli izognutogo odnoodovogo opticheskogo volokna k priyemnomu opticheskomu ustroystvu [Method for calculating the efficiency of radiation transmission from the side surface of a curved single-mode optical fiber to a receiving optical device] Issues of atomic science and technology. Mathematical modeling of physical Processes, 2016 1 P. 69-79

10 **Bogachkov, I. V., Trukhina, A. I., Gorlov, N. I.** Issledovaniye izgiba opticheskikh volokon na reflektogramme Brillyuena [Investigation of the effect of bending optical fibers on Brillouin reflectograms] // Materials APEIE–2018 (Novosibirsk) 1, 2 P. 140-144

11 **Trukhina, A. I., Bogachkov, I. V., Gorlov, N. I.** Issledovaniya izgotovleniya volokon v opticheskikh voloknakh razlichnykh tipov sistem generatsii i obrabotki signalov brilliyenovskikh trass v oblasti bortovoy svyazi [Studies of the influence of bends in optical fibers of various types on the systems of generation and processing of signals of Brillouin routes in the field of on-board communication] Proceedings (Moscow) 2019 – P. 1–5

12 **A. Minardo, R. Bernini, L.** Zeni Bend-Induced Brillouin Frequency Shift Variation in a Single-Mode Fiber IEEE Photonics Technology Letters 25, 2013, 23 стр. 2362-2364

13 **Fischer, O., Thoma, S., Crepaz, S.** Raspredelennoye volokonno-opticheskoye zondirovaniye dlya obnaruzheniya treshchin v betonnykh konstruktivnykh [Distributed fiber optic sensing for crack detection in concrete structures] //Civil Engineering Design. – 2019. – Т. 1. – № 3–4. – С. 97–105.

14 **Yan, M. et al.** Vliyaniye peredachi deformatsii na izmereniya s ispol'zovaniyem raspredelennykh volokonno-opticheskikh datchikov [Strain transfer effect on measurements with distributed fiber optic sensors] //Automation in Construction. – 2022. – Т. 139. – С. 104262.

15 **Feng, X. et al.** Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya po obnaruzheniyu treshchin s ispol'zovaniyem raspredelennykh volokonno-opticheskikh datchikov BOTDR [Theoretical and experimental investigations into crack detection with BOTDR-distributed fiber optic sensors] //Journal of Engineering Mechanics. – 2013. – Т. 139. – № 12. – С. 1797-1807.

Поступило в редакцию 03.12.24
Поступило с исправлениями 03.12.24
Принято в печать 04.12.24

**У. К. Жалмагамбетова¹, М. Ж. Мусагажинов²,
О. М. Талипов³, А. П. Кислов⁴*

^{1,3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Қазақ агротехникалық университеті. С. Сейфуллин,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

03.12.24 ж. баспаға түсті.

03.12.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КЕШЕНІНДЕГІ МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ҚОРҒАУ ҚҰРАЛДАРЫНА ШОЛУ

Энергетикалық кешен үшін ақпараттық қауіпсіздік сенімді және қауіпсіз жұмысты қамтамасыз ету аясында зерттелетін маңызды аспектілердің бірі болып табылады. Ол Ақпараттық жүйелерді, деректерді және желілерді кибершабуылдар, рұқсатсыз кіру және ақпараттың ағып кетуі сияқты әртүрлі қауіптерден қорғауды қамтиды.

Желіні пайдалану мен техникалық қызмет көрсетудің дәстүрлі технологиясы-әкімші желінің ақаулығы туралы хабарламаны пассивті түрде күтеді, содан кейін шұғыл қалпына келтіруге кіріседі. Бұл әдіс белсенді механизммен айырылған және желілік ақауларды жою кезінде көптеген кемшіліктерге ие. Ақпараттық қауіпсіздік оны өңдеу жүйесінің белгілі бір уақыт аралығында ақпараттың ағып кетуімен, ұрлануымен, жоғалуымен, рұқсатсыз жойылуымен, мәнінің өзгеруімен, рұқсатсыз көшірмесін алуымен, бұғатталуымен сипатталатын оқиғалардың ықтималдық шамаларына қойылатын талаптардың орындалуын қамтамасыз ету қабілеті.

Бұл мақалада Қазақстандағы ақпараттық қауіпсіздік саласындағы заңнамалық және нормативтік-құқықтық база қарастырылған. Осы негізде ақпараттық қауіпсіздікті қорғау жүйелері мен құралдары, сондай-ақ қауіпсіздік саясаты, мониторингті жүзеге асыру үшін ұйымдастырушылық және ұйымдастырушылық-техникалық іс-шараларды жүргізу талданады. Ақпараттық қауіпсіздіктің жоғары дәрежесіне қол жеткізу тиісті ұйымдастырушылық шараларды қолдану негізінде ғана мүмкін болады.

Кілтті сөздер: ақпаратты қорғау жүйелері, технологиялар, ақпаратты қорғау, қауіпсіздік саясаты, құқықтық база, мониторинг.

*U. K. Zhalmagambetova¹, M. J. Musagazhinov²,

O. M. Talipov³, A. P. Kislov⁴

^{1,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 03.12.24

Received in revised form 03.12.24

Accepted for publication 04.12.24

OVERVIEW OF MONITORING TECHNOLOGIES AND PROTECTIVE EQUIPMENT IN THE ENERGY SECTOR OF KAZAKHSTAN

For the energy sector, information security is one of the important aspects studied in the framework of ensuring reliable and safe operation. It includes the protection of information systems, data and networks from various threats such as cyber attacks, unauthorized access and information leaks.

The traditional technology of network operation and maintenance consists in the fact that the administrator passively waits for a message about a network malfunction, and then proceeds to emergency recovery. This method lacks an active mechanism and has many disadvantages in eliminating network communication failures. Information security is the ability of its processing system to ensure compliance with the requirements for the probabilistic values of events characterized by leakage, theft, loss, unauthorized destruction, value change, receipt of an unauthorized copy, blocking of information for a specified period of time.

This article examines the legislative and regulatory framework in the field of information security in Kazakhstan. On this basis, information security protection systems and tools are analyzed, as well as security policy, organizational and organizational and technical measures for monitoring. Achieving a high degree of information security is possible only through the application of appropriate organizational measures.

Keywords: information security systems, technologies, information protection, security policy, legal framework, monitoring.

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/CULI3245>

Б. Е. Махрапов¹, М. Я. Клецель², *Р. М. Махрапова³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3018-4125>

²ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4000-8915>

³ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

*e-mail: rizka1504@mail.ru

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ДЛЯ ФИЛЬТРОВЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ С КОНТРОЛЕМ ИСПРАВНОСТИ

Констатируется, что задача построения защит, не нуждающихся в металлоемких и громоздких трансформаторах тока является одной из нерешенных задач электроэнергетики. Предложен измерительный орган, получающий информацию от герконов и катушек индуктивности. Он может быть использован при построении защит электроустановок, токопроводы фаз которых лежат в одной плоскости. При этом магниточувствительные элементы устанавливаются вблизи фаз таким образом, чтобы расстояние от них до фаз удовлетворяло условиям электробезопасности. Показано, что возникновение трехфазного короткого замыкания выявляется по срабатыванию любого из трех герконов, а несимметричные короткие замыкания – по величине токов обратной последовательности, выделяемых с помощью катушек индуктивности. Дана схема измерительного органа, и показано как определять параметры ее элементов. Представлена методика, по которой можно найти координаты точек для установки этих датчиков тока. Надежность функционирования измерительного органа обеспечивается за счет выявления неисправностей с помощью встроенной функциональной диагностики. Она заключается в контроле величин напряжений на выводах катушек индуктивности и длительности сигналов от герконов. Рассмотрено поведение разработанного измерительного органа в различных эксплуатационных режимах.

Ключевые слова: электроустановка, горизонтальная плоскость, защита, магниточувствительный элемент, ток обратной последовательности.

Введение

Одними из самых распространенных устройств релейной защиты являются токовые защиты. Они для выявления токов короткого замыкания в электроустановках, как правило, получают информацию от трансформаторов тока. Традиционные ТТ обладают рядом недостатков [1; 2], которые стали причиной возникновения задачи построения защит без их использования. В настоящее время в научной литературе вместо этих ТТ предлагается использовать: герконы [3; 4; 5], катушки Роговского [1; 2; 6], датчики Холла [7; 8] и катушки индуктивности (КИ). Нами для построения защит выбраны герконы и КИ. Это сделано по следующим причинам: герконы могут выполнять функции трех элементов одновременно: датчика тока, реле тока и аналого-цифрового преобразователя; а КИ, в сравнении с катушкой Роговского, меньше по габаритам и не нуждаются в высоковольтной изоляции для крепления вблизи шины. На основе геркона и КИ уже имеются предложения по построению токовых защит, контролирующих токи обратной последовательности [9, с. 87]. Однако вопросы повышения надежности функционирования в [9, с. 87] не рассматривались. В данной работе предлагается вариант выполнения измерительного органа на герконах и КИ с встроенной диагностикой неисправностей для ЭУ с токопроводами фаз, расположенными в одной плоскости.

Материалы и методы

Предлагаемый измерительный орган [10, с. 3] содержит (рисунок 1) обмотки 1 и 2, намотанные на геркон 3, обмотки 4, 5, намотанные на геркон 6, обмотки 7, 8, намотанные на геркон 9. К выводам этих обмоток подключены усилители 10-15. Зажим 17 подключен к резистору 16, выходу фазоповоротной схемы 20 и вторичной обмотке 38 разделительного трансформатора 26. Зажим 19 подключен к резистору 18 и вторичным обмоткам 33-35, 38 трансформаторов 21, 24-26. Свободный вывод резистора 16 соединен с обмотками 33-35. Свободный вывод резистора 18 соединен с выходом фазоповоротной схемы 20. Первичные обмотки 27-32 трансформаторов 21-26 подключены к усилителям 10-15. Фазоповоротная схема 10 входами подключена к обмоткам 36 и 37 трансформаторов 22 и 23. Схема сравнения 39 подключена входами к вторичным обмоткам 40, 41 разделительных трансформаторов 21, 22. Схема сравнения 42 подключена к вторичным обмоткам 43, 44 разделительных трансформаторов 23, 24. Схема сравнения 45 подключена к вторичным обмоткам 46, 47 разделительных трансформаторов 25, 26. Выходы схем сравнения 39, 42, 45 подключены к элементу ИЛИ 48, выход которого подключен к блоку 49, который блокирует защиту, контролирующую величины симметричных составляющих токов. Блок 50 измерения времени подключен к контактам герконов 3, 6, 9, а

выходом в цепь сигнализации. К этим же контактам подключен через время задающий блок 51 выходной орган 52, а его выход – к выводу катушки отключения выключателя электроустановки. Герконы используются для выявления токов трехфазного КЗ, а КИ для построения фильтра токов обратной последовательности.



Рисунок 1 – Схема измерительного органа, контролирующего токи обратной последовательности

Центры тяжести герконов закреплены в одной плоскости, параллельной плоскости расположения токопроводов фаз, под ними. Координатами точек их установки являются расстояния h , x_1 , x_2 , x_3 и углы γ_1 , γ_2 , γ_3 . h – это расстояние (должно быть не меньше, чем минимально допустимое, обеспечивающее электробезопасность) от токопровода А до прямой 53, на которой лежат центры тяжести герконов 3, 6, 9, а x_1 , x_2 , x_3 – расстояния от точки 54 (рисунок 1) до них. γ_1 , γ_2 , γ_3 – углы поворота герконов 3, 6, 9 относительно линии 53, причем $\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$.

Указанные координаты точек выбираются такими, чтобы вдоль оси каждого из герконов действовала индукция, пропорциональная только одному из токов фаз, например на геркон 3 – от тока в фазе А. Покажем, как этого достичь. Запишем, используя закон Био-Савара-Лапласа, формулу для расчета индукции $B_{пр}$, которая действует вдоль продольной оси геркона 6 при установке его вблизи фаз трехфазной электроустановки (для герконов 3 и 9 выражение аналогично, но в верхних индексах цифра «6» заменяется на «3» и «9», соответственно):

$$B_{np}^{\Gamma 6} = B_A^{\Gamma 6} \cos \alpha_1^{\Gamma 6} + B_B^{\Gamma 6} \cos \alpha_2^{\Gamma 6} + B_C^{\Gamma 6} \cos \alpha_3^{\Gamma 6} =$$

$$= \mu_0 (g_A^{\Gamma 6} I_A + g_B^{\Gamma 6} I_B + g_C^{\Gamma 6} I_C) / 2\pi, \quad (1)$$

где $B_A^{\Gamma 6}$, $B_B^{\Gamma 6}$, $B_C^{\Gamma 6}$ – индукции магнитных полей, созданных токами I_A , I_B , I_C в фазах А, В, С в точке установки геркона 6 $\alpha_1^{\Gamma 6}$, $\alpha_2^{\Gamma 6}$, $\alpha_3^{\Gamma 6}$ – углы между продольной осью геркона 6 и этими индукциями; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха; $g_A^{\Gamma 6}$, $g_B^{\Gamma 6}$, $g_C^{\Gamma 6}$ – коэффициенты пропорциональности (для герконов 3 и 9 записываются аналогично при соответствующих расстояниях и углах):

$$g_A^{\Gamma 6} = (h_A^{\Gamma 6} \cos \gamma_2 + x_2 \sin \gamma_2) / \left((h_A^{\Gamma 6})^2 + (x_2)^2 \right);$$

$$g_B^{\Gamma 6} = (h_B^{\Gamma 6} \cos \gamma_2 + (x_2 - d) \sin \gamma_2) / \left((h_B^{\Gamma 6})^2 + (x_2 - d)^2 \right); \quad (2)$$

$$g_C^{\Gamma 6} = (h_C^{\Gamma 6} \cos \gamma_2 + (x_2 - 0,5d) \sin \gamma_2) / \left((h_C^{\Gamma 6})^2 + (x_2 - 0,5d)^2 \right),$$

где d – расстояние между фазами А и В, В и С; $h_A^{\Gamma 6}$, $h_B^{\Gamma 6}$ и $h_C^{\Gamma 6}$, и – расстояния от осей фаз А, В и С до центра тяжести геркона 6.

Из анализа (1) следует, что для обеспечения воздействия на геркон 3 (6, 9) индукции магнитного поля, созданного только током в фазе А (В, С), нужно выполнить следующие условия (верхние индексы указывают на позиционный номер геркона):

$$g_B^{\Gamma 3} = g_C^{\Gamma 3}; g_A^{\Gamma 6} = g_C^{\Gamma 6}; g_A^{\Gamma 9} = g_B^{\Gamma 9}. \quad (3)$$

Тогда для геркона 3, можно записать:

$$B_{np}^{\Gamma 3} = \mu_0 I_A (g_A^{\Gamma 3} - g_B^{\Gamma 3}) / 2\pi. \quad (4)$$

Расстояния, на которых нужно установить герконы, и углы их поворота находим из (3), используя (2). Например, вблизи фаз электроустановки напряжением 110 кВ, где $d=1$ м, геркон 3 нужно установить в точке с координатами $h=0,9$ м, $x_1=0,4$ м и $\gamma_1=590$.

Отметим, что это не единственное решение, так как уравнение $g_B^{\Gamma 3} = g_C^{\Gamma 3}$ имеет две неизвестные. Координаты точек установки герконов 6 и 9 определяются аналогично.

Результаты и обсуждение

Устройство работает следующим образом. Ток I_A , протекающий в фазе А электроустановки, создает магнитное поле с индукцией $B_A^{\Gamma 3} = \mu I_A (g_A^{\Gamma 3} - g_B^{\Gamma 3}) / 2\pi = K I_A$, действующей вдоль оси геркона 3. Магнитный поток ФА есть поток вектора магнитной индукции $B_A^{\Gamma 3}$ через площадь S , то есть $\Phi_A = \int \vec{B}_A^{\Gamma 3} d\vec{S} = K_2 B_A^{\Gamma 3}$. Поток ФА наводит в обмотке 1 ЭДС $E_A = -d\Phi_A / dt = K_3 \Phi_p$, которая сдвинута по фазе относительно него на угол $\pi/2$. ЕА усиливается усилителем 10 и создает ток I_1 в обмотке 33 разделительного трансформатора 21, величина которого может плавно регулироваться коэффициентом K_y усиления усилителя 10. $I_1 = E_A K_y / Z_1 = K_4 K_y E_A$, Z_1 – сопротивление разделительного трансформатора 21 и соединительных проводов. Точно также находятся токи I_2 , I_4 , I_5 , I_7 и I_8 (индексы соответствуют позиционному обозначению обмотки управления геркона), величину которых можно регулировать усилителями 11, 12, 13, 14 и 15. Отметим, что для совпадения коэффициентов преобразования токов K_1 , K_2 , K_3 , K_4 разделительные трансформаторы должны иметь одинаковые параметры, и герконы 3, 6 и 9 нужно установить таким образом, чтобы в симметричном режиме величины индукций B_{np} вдоль их осей совпадали. Токи I_1 , I_5 , I_7 в сумме составляют ток нулевой последовательности 3И0. Он уменьшается в три раза путем регулирования сопротивления резистора 16, чтобы компенсировать ток нулевой последовательности, содержащийся в токе I_C . Тогда получим ЭДС, пропорциональную разности токов $I_C - I_{0C}$:

$$E_C = K_5 K_4 K_3 K_2 K_1 K_y (I_C - I_{0C}) = K_{nc} I'_C,$$

где K_{nc} – коэффициент пропорциональности.

На входы фазоповоротной схемы 20 подается разность ЭДС ($E_A - E_B$) с выводов обмоток 36 и 37. Они имеют сдвиг по фазе на $\pi/2$ относительно токов I_A и I_B , которыми создаются. Схема 20 компенсирует этот сдвиг. В результате на ее выходе получаем $E_{AB} = K_{nAB} (I_A - I_B)$, где K_{nAB} – коэффициент пропорциональности. Исходя из изложенного, ЭДС на взаимках 17 и 19 равна:

$$E_{\Sigma} = E_C + E_{AB} = K_{nc} I'_C + K_{nAB} (I_A - I_B).$$

При протекании в фазах электроустановки токов прямой последовательности разность токов $I_A - I_B$ и ток I_C направлены встречно. При этом указанная разность в $\sqrt{3}$ раза больше. Регулируя сопротивление резистора 18, добиваются их равенства. Поэтому $E_{\Sigma} = 0$. При прохождении

токов обратной последовательности $E_{\Sigma} \gg 0$. Таким образом, предлагаемая схема выполняет функции фильтра токов обратной последовательности.

Диагностика исправности цепей от обмоток управления герконов до разделительных трансформаторов осуществляется путем сравнения ЭДС наведенных на выводах этих обмоток между собой. Так при неисправности в цепи обмотки 1 напряжение на выводах вторичной обмотки 40 разделительного трансформатора 21 становится меньше напряжения на выводах вторичной обмотки 41 разделительного трансформатора 22. Поэтому схема сравнения 39 срабатывает и через элемент ИЛИ 48 выдает сигнал в цепь сигнализации и на блокировку защиты, контролирующей величину тока обратной последовательности. Аналогично при повреждениях в цепях обмоток 2, 4 или 5, 7 или 8 выдают сигналы схемы сравнения 39, 42, 45, и указанная защита блокируется.

При трехфазных коротких замыканиях срабатывают герконы 3, 6, 9, реагирующие на полные токи в фазах А, В, С, и по истечении времени, установленного в блоке 51, запускается выходной орган 52, который коммутирует цепь катушки отключения выключателя электроустановки. При залипании контактов любого из герконов 3, 6, 9 срабатывает блок измерения времени 50, который подает сигнал в цепь сигнализации.

Выводы

Предложенный измерительный орган за счет получения информации о токах в фазах электроустановки не от традиционных трансформаторов тока, а от герконов и КИ, при внедрении позволит экономить медь, сталь и высоковольтную изоляцию. Можно полагать, что по надежности он будет превосходить большинство аналогичных, так как имеет встроенную диагностику неисправностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Kojović, L. A.** New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Упр-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

2 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

3 **Issabekov, D. D., Mussayev, Z. B., Markovskiy, V. P., Kislov, A. P., Urazalimova, D.S.** Reed Switch Overcurrent Protection: New Approach to Design // Energies, 2024. – Vol. 17, Art. no. 2481, P. 1–26.

4 **Goryunov, V., Kletsel, M., Mashrapov, B., Mussayev, Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061–6069.

5 **Teng, J., Luan, S., Huang, W., Lee, D., Huang, Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357–366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493–497.

7 **Guan-Jie, H., Nanming, C., Kun-Long, C.** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1–5.

8 **Majumder, R., Dolui, S., Agasti, D., Biswas, S.** Micro-controller based over current relay using Hall Effect current sensor // 2018 Emerging Trends in Electronic Devices and Computational Techniques (EDCT), Kolkata, India, 2018. – P. 1–4.

9 **Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D.** New filters for symmetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85–91.

10 **Клецель М. Я., Машрапов Б. Е., Машрапова Г. Н.** Фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз // Пат. 36285 РК МПК H02H 3/08; опубли. 30.06.2023.

REFERENCES

1 **Kojović, L.A.** New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Упр-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

2 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

3 **Issabekov, D. D., Mussayev, Z.B., Markovskiy, V. P., Kislov, A. P., Urazalimova, D.S.** Reed Switch Overcurrent Protection: New Approach to Design // Energies, 2024. – Vol. 17, Art. no. 2481, P. 1–26.

4 **Goryunov, V., Kletsel M., Mashrapov, B., Mussayev, Zh., Talipov, O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

5 **Teng, J., Luan, S., Huang, W., Lee, D., Huang, Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357–366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493–497.

7 **Guan-Jie, H., Nanming, C., Kun-Long, C.** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1–5.

8 **Majumder, R., Dolui, S., Agasti, D., Biswas, S.** Micro-controller based over current relay using Hall Effect current sensor // 2018 Emerging Trends in Electronic Devices and Computational Techniques (EDCT). – Kolkata, India, 2018. – P. 1-4.

9 **Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D.** New filters for symmetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85–91.

10 **Kletsel, M. Ya., Mashrapov, B. E., Mashrapova, R. M.** Fil'tr toka obratnoy posledovatel'nosti na magnitochuvstvitel'nykh elementakh dlya elektroustanovok s gorizonta'l'nyim raspolozheniyem tokoprovodov faz [Negative sequence current filter on magnetically sensitive elements for electrical installations with horizontal arrangement of phase conductors] // Pat. 36285 RK IPC H02H 3/08; publ. 30/06/2023.

Поступило в редакцию 11.09.24
Поступило с исправлениями 11.10.24
Принято в печать 04.12.24

*Б. Е. Маурапов¹, М. Я. Клецель², *Р. М. Маурапова³*
^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
11.09.24 ж. баспаға түсті.
11.10.24 ж. түзетулерімен түсті.
04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖАРАМДЫЛЫҒЫН БАҚЫЛАУМЕН СҮЗГІЛІК ТОКТЫҚ ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН ӨЛШЕУ ОРГАНЫ

Металды қажетсінетін және ірі ток трансформаторларын керек етпейтін қорғаныстарды құру мәселесі электр энергетикасындағы шешімін таппаған міндеттердің бірі екені белгіленді. Геркондар мен индуктивтілік катушкалардан ақпарат алушы өлшеу органы ұсынылған. Оны фазаларының ток өткізгіштері бір жазықтықта жатқан электр қондырғыларының қорғанысын құру үшін пайдалануға болады. Мұнда магнитке сезімтал элементтер фазаларға жақын,

олардан фазаларға дейінгі ара қашықтығы электр қауіпсіздігі шарттарын қанағаттандыратындай орнатылады. Үш фазалы қысқа тұйықталудың пайда болуын үш герконның кез келгенінің іске қосылуымен, ал симметриялы емес қысқа тұйықталулар индуктивтілік катушкаларының көмегімен бөлінетін кері тізбектегі токтардың шамасымен анықталатыны көрсетілген. Өлшеу органының сұлбасы берілген және оның элементтерінің параметрлерін қалай анықтайтыны көрсетілген. Осы ток датчиктерін орнату нүктелерінің координаталарын табуға әдістеме ұсынылған. Кіріктірілген функционалды диагностикамен ақаулықтарды анықтау арқылы өлшеу органының сенімділігі қамтамасыз етіледі. Ол индуктивтілік катушкаларының шықпаларындағы кернеулердің шамаларын және геркондардың сигналдарының ұзақтығын бақылаумен іске асырылады. Өлшеу органының әрекеті пайдаланудың әртүрлі режимдерінде қарастырылады.

Кілтті сөздер: электр қондырғысы, колденең жазықтық, қорғаныс, магнитке сезімтал элемент, кері тізбектегі тоғы.

*В. Е. Маурапов¹, М. Я. Клецель², *Р. М. Маурапова³*
^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
Received 11.09.24
Received in revised form 11.10.24
Accepted for publication 04.12.24

MEASURING ELEMENT FOR FILTER CURRENT PROTECTIONS WITH SERVICEABILITY CONTROL

It is stated that the task of constructing protections that do not require metal-intensive and bulky current transformers is one of the unsolved problems of the electric power industry. A measuring element for filter current protections is proposed, receiving information from reed switches and inductance coils for electrical installations in which the phase conductors are in the same horizontal plane. Reed switches and inductance coils are fixed near the phases of the electrical installation in the magnetic field of their currents at the minimum distance from them permissible according to safety engineering. It is shown that the occurrence of a three-phase short circuit is detected by the operation of any of the three reed switches, and the electromotive force at the terminals of the inductance coils is used to detect negative sequence currents. A diagram

of the measuring element and methods for determining the coordinates of the points in which the reed switches and inductance coils should be installed, and the parameters of the circuit elements are presented. The reliability of the measuring element is ensured by detecting faults using built-in functional diagnostics. It consists of monitoring the voltage values at the terminals of the inductance coils and the duration of signals from the reed switches. The behavior of the developed measuring device in various operating modes is considered.

Key words: electrical installation, horizontal plane, protection, magnetically sensitive element, negative sequence current.

SRSTI 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/WMCR9023>

***M. Maulet¹, B. Rakhadilov², M. Rutkowska-Gorczyca³, Zh. Sagdoldina⁴, D. Buitkenov⁵**

^{1,2,4,5}Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

³Wroclaw University of Science and Technology, Poland, Wroclaw

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1869-9705>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2712-5914>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0239-5849>

*e-mail: maulet_meruert@mail.ru

ASSESSMENT OF NI-CR-AL HIGH-TEMPERATURE DETONATION COATINGS UNDER OPERATIONAL CONDITIONS

This study evaluates the high-temperature durability and oxidation resistance of homogeneous and gradient Ni-Cr-Al detonation coatings applied to 12Kh1MF steel substrates. Samples were exposed to operational conditions in a power plant for two weeks, simulating high-temperature industrial environments. The research utilizes X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) to analyze phase stability, surface morphology, and structural integrity of the coatings before and after thermal exposure. Findings reveal that gradient coatings outperform homogeneous ones, demonstrating superior oxidation resistance and reduced susceptibility to thermal stress-induced microcracks. The multi-layered oxide structure and compositional gradient of the gradient coatings contribute to their enhanced thermal stability and long-term durability. In contrast, homogeneous coatings exhibited surface roughness and microcracks, which may compromise their longevity under extreme conditions. These insights emphasize the advantages of gradient Ni-Cr-Al coatings for high-temperature applications, highlighting their potential for improved performance and reliability in demanding industrial settings. The study bridges knowledge gaps regarding the long-term behavior of these coatings, aiding their optimization for critical applications.

Keywords: High-temperature coating, power plant, Ni-Cr-Al coating, detonation technology, steel 12Kh1MF.

Introduction

High-temperature detonation coatings based on the Ni-Cr-Al system have demonstrated remarkable effectiveness in resisting oxidation, corrosion, and wear, making them essential in industries such as aerospace, energy, and manufacturing. These coatings offer superior protection in environments where components are regularly exposed to high temperatures and harsh operational conditions [1; 2]. The unique combination of nickel, chromium, and aluminum forms a protective oxide layer, which significantly enhances the thermal and mechanical stability of the substrate [3; 4].

Detonation-sprayed Ni-Cr-Al coatings exhibit excellent adhesion to substrates and exceptional resistance to thermal cycling, making them ideal for applications requiring long-term durability in extreme conditions [5; 6]. This method produces dense, uniform coatings that effectively protect against wear and oxidation in demanding operational environments [7; 8]. Despite their recognized advantages, there remains a lack of comprehensive data on the long-term performance of these coatings in real-world conditions [9; 10].

This study aims to investigate the long-term durability of Ni-Cr-Al coatings under operational conditions. Understanding how these coatings perform in environments with temperature fluctuations and corrosive influences is critical for optimizing their applications in industrial sectors. This research will fill the gap in existing knowledge and provide important insights for future developments in protective coating technologies.

Materials and methods

The experiments were conducted using 12Kh1MF steel as the substrate, which was cut into cubic samples with dimensions of 1.5 cm on each side. The steel substrates were thoroughly cleaned to remove any contaminants that could affect coating adhesion. A Ni-Cr-Al coating was applied to all surfaces of the cubic samples using the detonation spraying method, which involves high-velocity particles being deposited onto the substrate, forming a dense, uniform layer. This technique ensures excellent adhesion and enhances the mechanical and thermal properties of the coated surface. A homogeneous Ni-Cr-Al coating was produced by filling 50 % of the barrel volume. Gradient coatings were created by gradually reducing the barrel filling volume with gas from 50% to 25%. A detailed procedure for obtaining a gradient coating can be found in our previously published work [6; 7].

After the coating process, the samples were transported to the Sogrinckaya Power Plant in Ust-Kamenogorsk. The samples were placed in high-temperature zones within the power plant, where they were exposed to operational conditions

for a duration of two weeks (figure 1). The temperature in these zones reached up to 700°C, simulating real-world high-temperature environments to evaluate the coating's durability and resistance to thermal degradation.

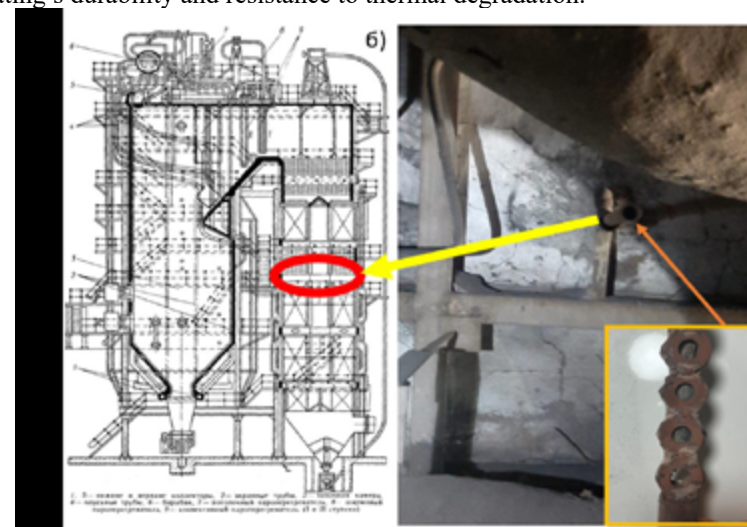


Figure 1 – The samples were placed in high-temperature zones within the power plant

Following the exposure period, the samples were retrieved for further analysis. To identify the phases formed in the coating after high-temperature oxidation, X-ray diffraction (XRD) analysis was performed using an X'PertPRO diffractometer with Cu-K α radiation ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) at 40 kV and 30 mA. The HighScore software analyzed the diffractograms, with measurements taken from $2\theta = 20^\circ$ to 90° , using a 0.02° step size and 0.5 seconds per step. After testing, the coating's cross-sectional morphology was examined using backscattered electrons (BSE) on a JSM-6390LV scanning electron microscope (Jeol, Tokyo, Japan).

Results and discussion

The SEM analysis provided insights into the surface morphology of both homogeneous and gradient Ni-Cr-Al coatings before and after exposure to high temperatures at the Sogrinckaya Power Plant (figures 2-3). Before thermal exposure, the homogeneous Ni-Cr-Al coatings displayed a relatively uniform surface, with densely packed particles and minimal porosity (figure 2a). After exposure to high temperatures, significant changes were observed in the surface morphology of the homogeneous coatings. SEM images show the formation of rounded features and surface roughness, indicating the onset of oxidation (figure

2b). Some microcracks were also observed, suggesting that the homogeneous coating experienced thermal stress due to temperature fluctuations. Despite these changes, the coating remained largely intact, demonstrating its ability to withstand high-temperature conditions without severe degradation.

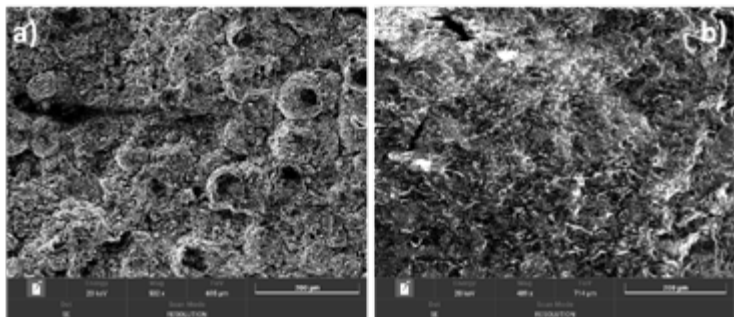


Figure 2 – Surface morphology of homogeneous Ni-Cr-Al coatings before (a) and after (b) exposure to high temperatures

The gradient Ni-Cr-Al coatings, before exposure, exhibited a more complex structure compared to the homogeneous coatings (figure 3a). The surface contained areas of varying particle sizes, reflecting the gradient nature of the coating where different layers contain varying concentrations of Ni, Cr, and Al. This gradient structure is designed to optimize thermal and mechanical properties, with outer layers providing high oxidation resistance and inner layers enhancing adhesion and toughness. Post-exposure SEM analysis revealed that the gradient coatings performed well under high-temperature conditions (figure 3b). While some oxidation features were observed, the gradient structure appeared to have mitigated the formation of large surface cracks. The presence of smaller oxide nodules suggests that the outer layers of the gradient coating formed protective oxides more effectively than the homogeneous coating. The gradient structure likely contributed to better thermal stress distribution, resulting in fewer microcracks and a more stable surface morphology after thermal exposure.

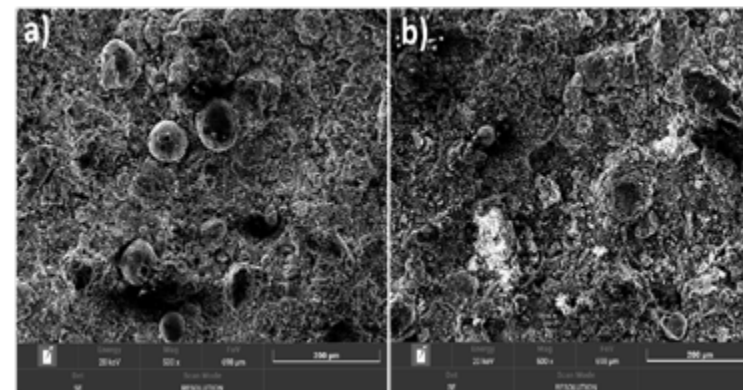


Figure 3 – Surface morphology of gradient Ni-Cr-Al coatings before (a) and after (b) exposure to high temperatures

A cross-section SEM figures of the homogeneous and gradient Ni-Cr-Al detonation coatings after two weeks of exposure in the power plant reveals distinct differences in their structural responses and oxidation resistance figure 4. The homogeneous coating, examined through cross-sectional SEM analysis, shows the formation of a continuous oxide layer primarily consisting of Cr_2O_3 and Al_2O_3 (figure 4a). However, the high thermal stress from prolonged exposure led to surface roughness and the development of microcracks extending from the surface into the coating. These microcracks indicate that the homogeneous structure struggles to manage thermal expansion, potentially compromising its long-term durability. While the coating maintained its structural integrity to some extent, the presence of microcracks poses a risk for deeper oxidation over time. In contrast, the gradient Ni-Cr-Al coating displayed a more robust response to the same high-temperature conditions (figure 4b). The cross-sectional SEM analysis highlights a multi-layered oxide structure, with higher concentrations of Cr_2O_3 and Al_2O_3 near the surface, providing enhanced oxidation resistance. The gradient structure allows for better distribution of thermal stress across the layers, resulting in fewer and smaller microcracks compared to the homogeneous coating. This graded composition minimizes thermal mismatch and helps accommodate expansion, preserving the coating's integrity and reducing susceptibility to deep oxidation.

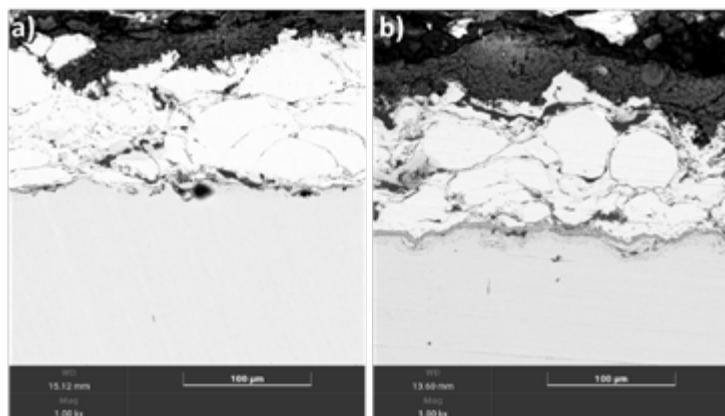


Figure 4 – A cross-section SEM figures of the homogeneous (a) and gradient (b) Ni-Cr-Al detonation coatings after two weeks of exposure in the power plant

The XRD patterns for both the homogeneous and gradient Ni-Cr-Al coatings reveal significant insights into the phase stability and oxidation resistance under high-temperature conditions. The gradient Ni-Cr-Al coating (figure 5a) exhibits similar peaks for the CrNi_3 phase, but with a higher intensity for the Al_2O_3 (306) peak, indicating a more pronounced oxidation at the surface. This is consistent with the gradient structure, which may facilitate gradual compositional changes that enhance oxidation resistance on the surface. The enhanced Cr_2O_3 layer likely provides better protection against thermal oxidation, suggesting that the gradient structure promotes improved thermal and oxidative stability over homogeneous coatings under real (Power plant) conditions. In the gradient Ni-Cr-Al coating, the presence of a CrO_3 peak indicates additional oxidation products forming on the surface. CrO_3 , a higher oxidation state of chromium oxide, suggests that the gradient structure facilitates oxygen diffusion deeper into the coating, forming CrO_3 in addition to Cr_2O_3 . This phase is known for its high-temperature stability but is typically less thermally stable than Cr_2O_3 , which might influence the coating's performance. The gradient composition likely aids in managing oxidation, creating a multi-layered oxide structure that enhances thermal resistance under real (Power plant) conditions. Homogeneous Ni-Cr-Al Coating's major peaks at positions corresponding to the CrNi_3 phase indicate that the coating retains its primary structure (figure 5b). However, smaller peaks attributed to Cr_2O_3 and Al_2O_3 suggest a minor oxidation layer on the surface, which likely enhances thermal stability. The presence of the CrNi_3 (111) peak as the dominant phase

implies good structural integrity under prolonged thermal exposure, as well as stable adherence to the substrate.

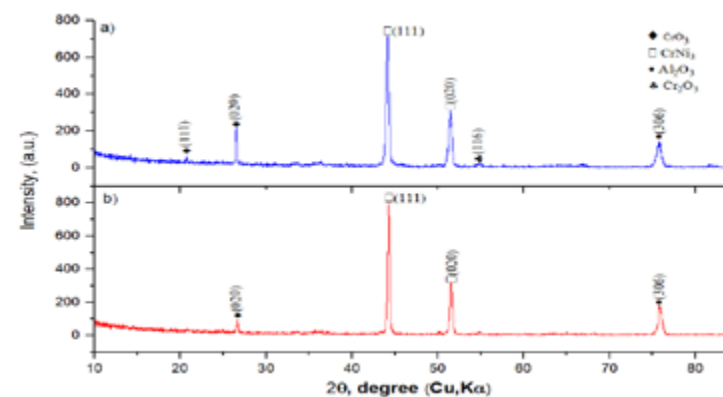


Figure 5 – XRD results of coatings after exposure to high temperatures: (a) gradient Ni-Cr-Al coating and (b) homogeneous Ni-Cr-Al coating.

The SEM linear analysis of the gradient Ni-Cr-Al coating after two weeks of exposure in a power plant reveals distinct elemental distributions across the cross-section. The intensity of Al and Cr signals is high near the surface, indicating a protective oxide layer enriched in these elements, likely due to oxidation processes. The Ni signal is stronger in deeper layers, suggesting the underlying coating retains its nickel-rich matrix. This gradient in elemental distribution supports enhanced oxidation resistance and thermal stability in the surface region of the coating.

Financing information

This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992876)

Conclusion

This comparative study highlights the effectiveness of gradient Ni-Cr-Al coatings over homogeneous ones in high-temperature environments, as shown through two weeks of exposure in a power plant. The gradient coating's multi-layered oxide structure, enriched in Cr_2O_3 and Al_2O_3 near the surface, provided enhanced oxidation resistance and minimized microcracking due to improved thermal stress distribution. In contrast, the homogeneous coating, though effective, displayed surface microcracks that may compromise long-term durability under thermal cycling. The gradient coating's structure allows for better management of oxygen diffusion and thermal expansion, promoting structural integrity and resistance to oxidation. These findings underscore the gradient Ni-Cr-Al coating

as a more robust solution for applications requiring high durability in extreme conditions.

REFERENCES

1 **Singh, G., Bala, N., Chawla, V.** High temperature oxidation behaviour of HVOF thermally sprayed NiCrAlY coating on T-91 boiler tube steel [Text] // *Materials Today: Proceedings*. – 2017. – Vol. 4. – P. 5259–5268. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.05.035.

2 **Goyal, L., Chawla, V., Hundal, J. S.** Elevated temperature corrosion studies of AlCrN and TiAlN coatings by PAPVD on T91 boiler steel [Text] // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2017. – Vol. 26. – P. 5481–5489. DOI: 10.1007/s11665-017-2972-4.

3 **Biava, G., Siqueira, I. B., Vaz, R. F., Souza G.B., Jambo H.C.M., Szogyenyi A., Pukaszewicz A.G.M.** Evaluation of high temperature corrosion resistance of CrN, AlCrN, and TiAlN arc evaporation PVD coatings deposited on Waspaloy [Text] // *Surface and Coatings Technology*. – 2022. – Vol. 438. – P. 128398. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2022.128398.

4 **Heath, G. R., Heimgartner, P., Irons, G., Miller R.D., Gustafsson S.** An assessment of thermal spray coating technologies for high temperature corrosion protection [Text] // *Materials Science Forum*. – 1997. – Vol. 251–254. – P. 809–816. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.251-254.809.

5 **Wang, S., Wang, Y., Cao, G., Chen C., Zhu Y., Serdechnova M., Blawert C., Zheludkevich M.L., Zou Y., Ouyang J., Jia D., Zhou Y.** High temperature oxidation and hot corrosion behaviors of PEO and PEO/polysilazane preceramic-based dual-layer coatings on Ti6Al4V alloy [Text] // *Corrosion Science*. – 2023. – Vol. 216. – P. 111076. DOI: 10.1016/j.corsci.2023.111076

6 **Rakhadilov, B., Sulyubayeva, L., Maulet, M., Sagdoldina Zh., Buitkenov D., Issova A.** Investigation of high-temperature oxidation of homogeneous and gradient Ni-Cr-Al coatings obtained by detonation spraying [Text] // *Coatings*. – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 11. DOI: 10.3390/coatings14010011.

7 **Rakhadilov, B., Maulet, M., Abilev, M., Sagdoldina, Zh., Kozhanova, R.** Structure and tribological properties of Ni–Cr–Al-based gradient coating prepared by detonation spraying [Text] // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 218. DOI: 10.3390/coatings11020218.

8 **Rakhadilov B.K., Maulet M., Kakimzhanov D.N., Stepanova O.A., Botabaeva G.B.** Comparative study of the structure and properties of homogeneous and gradient Ni-Cr-Al coatings [Text] // *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. – 2022. – Vol.6(1). – P. 47–55. DOI: 10.32523/ejpfm.2022060105.

9 **Cheng, J., Wu, Y., Chen, L., Hong Sh., Qiao L., Wei Zh.** Hot corrosion behavior and mechanism of high-velocity arc-sprayed Ni-Cr alloy coatings [Text] // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2019. – Vol. 28. – P. 1263–1273. DOI: 10.1007/s11666-019-00890-0.

10 **Somasundaram, B., Kadoli, R., Ramesh, M. R.** Evaluation of cyclic oxidation and hot corrosion behavior of HVOF-sprayed WC-Co/NiCrAlY coating [Text] // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2014. – Vol. 23. – P. 1000–1009. DOI: 10.1007/s11666-014-0112-3.

Received 31.09.24

Received in revised form 27.10.24

Accepted for publication 04.12.24

*М. Маулет¹, Б. Рахадиллов², М. Рутковская-Горчица³,

Ж. Сағдолдина⁴, Д. Буйткенов⁵

^{1,2,4,5}С. Аманжолов Шығыс Қазақстан университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

³Вроцлав Ғылым Және Технологиялар Университеті, Польша, Вроцлав қ.

31.09.24 ж. баспаға түсті.

27.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

NI-CR-AL ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ДЕТОНАЦИЯЛЫҚ ЖАБЫНДАРЫН ЖҰМЫС ЖАҒДАЙЫНДА БАҒАЛАУ.

Бұл зерттеуде 12ХМФ болат негіздерге алынған Ni-Cr-Al негізіндегі біртекті және градиентті детонациялық жабындардың жоғары температураға төзімділігі мен тотығуға қарсы тұрақтылығы бағаланады. Үлгілер екі апта бойы жылу электр станциясындағы эксплуатациялық жағдайларға ұшырап, жоғары температуралы өндірістік ортада сыналды. Зерттеуде фазалық тұрақтылықты, беткі морфологияны және жабындардың құрылымдық тұтастығын термиялық әсерге дейін және кейін талдау үшін рентгендік дифракция (XRD) және сканерлік электрондық микроскопия (SEM) әдістері қолданылды. Нәтижелер көрсеткендей, градиентті жабындар біртекті жабындарға қарағанда жақсырақ, тотығуға қарсы жоғары тұрақтылықты және термиялық кернеу нәтижесінде пайда болатын микрожарықтарға аз бейімділікті көрсетеді. Градиентті жабындардың көпқабатты оксидті құрылымы мен құрамдық градиенті олардың термиялық тұрақтылығын және

ұзақ мерзімді беріктігін жақсартады. Ал біртекті жабындар бетінің кедір-бұдырлығын және микрожарықтарды көрсетті, бұл олардың төзімділігін экстремалды жағдайларда төмендетуі мүмкін. Бұл нәтижелер градиентті Ni-Cr-Al жабындарының жоғары температуралық қолданулар үшін артықшылықтарын көрсетіп, оларды күрделі өндірістік жағдайларда тиімділік пен сенімділікті арттыру әлеуетіне ие екенін дәлелдейді. Зерттеу нәтижелері мұндай жабындардың ұзақ мерзімді қолдану туралы ақпаратты толтырып, олардың негізгі қолдануларға оңтайландырылуына үлес қосады.

Кілт сөздер: жоғары температуралық жабын, ЖЭС, Ni-Cr-Al жабыны, детонациялық технология, 12Х1МФ болаты.

*М. Маулет¹, Б. Рахадиллов², М. Рутковская-Горчица³,

Ж. Сағдолдина⁴, Д. Буйткенов⁵

^{1,2,4,5}Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова,

Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

³Вроцлавский университет науки и технологий, Польша, г. Вроцлав

Поступило в редакцию 31.09.24

Поступило с исправлениями 27.10.24

Принято в печать 04.12.24

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Ni-Cr-AL В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В данном исследовании оценивается высокая температурная стойкость и устойчивость к окислению однородных и градиентных детонационных покрытий на основе Ni-Cr-Al, нанесенных на стальные подложки 12Х1МФ. Образцы подвергались эксплуатационным условиям на теплоэлектростанции в течение двух недель, имитируя высокотемпературные промышленные среды. В ходе исследования использовались рентгеновская дифракция (XRD) и сканирующая электронная микроскопия (SEM) для анализа фазовой стабильности, морфологии поверхности и структурной целостности покрытий до и после термического воздействия. Результаты показывают, что градиентные покрытия превосходят однородные, демонстрируя высокую стойкость к окислению и меньшую подверженность термическим трещинам. Многослойная оксидная структура и градиент состава градиентных покрытий способствуют их

улучшенной термической стабильности и долговечности. В отличие от этого, однородные покрытия показали шероховатость поверхности и микротрещины, что может ухудшить их долговечность в экстремальных условиях. Эти результаты подчеркивают преимущества градиентных покрытий Ni-Cr-Al для высокотемпературных применений, указывая на их потенциал для повышения производительности и надежности в сложных промышленных условиях. Исследование восполняет пробелы в знаниях о поведении таких покрытий в долгосрочной перспективе, способствуя их оптимизации для ключевых приложений.

Ключевые слова: Высокотемпературное покрытие, ТЭЦ, Ni-Cr-Al покрытие, технология детонации, сталь 12Х1МФ.

<https://doi.org/10.48081/DZCL9808>

**А. Д. Мехтиев^{1,*}, Т. С. Герасименко², Е. Ж. Сарсикеев³,
А. Касипхан⁴, Л. Н. Кириченко⁵**

^{1,2,3,4,5}Казахский Агротехнический исследовательский университет
имени С. Сейфуллина, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5704-5419>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2342-8777>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

*e-mail: melary-5@mail.ru

ОЦЕНКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАКИПИ

Всегда намного проще предупредить проблему, чем устранять ее последствия поэтому, при водоподготовки используют различные способы уменьшения жесткости воды для исключения образования накипи на внутренних стенках трубопроводом при ее нагреве.

В статье рассмотрены наиболее применяемые химические способы очистки воды от солей накипи, обобщены их достоинства и недостатки. Так же предложен безреагентный способ устранения накипи при помощи постоянных магнитов.

Цель данной работы заключалась в рассмотрении физико-химических механизмов воздействия магнитного поля на воду с растворенными в ней солями жесткости, а также исследование солевого состава воды используемой для нагрева.

В ходе проведенного исследования был получен результат, который наглядно подтверждает гипотезу электрохимических процессов в воде при прохождении ее через магнитное поле: в воде соли существуют в виде ионов, магнитное поле поляризует их, то есть разделяет и деформирует их гидратные оболочки, тем самым способствует процессу кристаллизации солей, то есть происходит образование центров кристаллизации, на которых адсорбируются катионы кальция и магния. В результате этого образуется

мелкокристаллическая форма, которая остается в водном растворе и при его нагревании не осаждаются в твердом виде на частях теплообменников, а падает на дно в виде шлама или мелкого песка.

Ключевые слова: карбонатная жесткость, карбонат кальция и магния, магнитная обработка, накипь, реагентные методы.

Введение

Вода, которую мы получаем из подземных скважин, не является чистой, в ней содержатся различные растворенные минеральные соли, которые придают ей определенный химический состав. Этот состав не является постоянным и может меняться в зависимости от времени года, уровня осадков и даже геологических особенностей местности

В воде содержится растворимые и не растворимые вещества. Например, проходя через известковые породы, она обогащается кальцием (Ca^{2+}), а через доломитовые - магнием (Mg^{2+}). Именно эти два иона, кальций и магний, являются основными причинами формирования жесткости воды. Концентрация растворенных в воде солей кальция и магния напрямую определяют показатель ее жесткости. Общая жесткость воды формируется как сумма карбонатной и некарбонатной жесткости [1].

Можно разделить жесткость воды на два типа:

1) Карбонатная жесткость (или временная жесткость) вызвана наличием гидрокарбонатов кальция и магния ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Она является непостоянной, так как при нагревании воды гидрокарбонаты разлагаются, образуя карбонаты, которые выпадают в осадок в виде накипи. Именно карбонатная жесткость является причиной образования накипи на чайниках, стиральных машинах и других бытовых приборах.

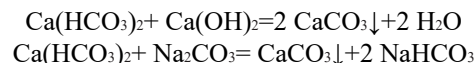
2) Некарбонатная жесткость (или постоянная жесткость) обусловлена наличием хлоридов и сульфатов кальция и магния (CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4). Эта жесткость не устраняется при кипячении, так как соли, вызывающие ее, не разлагаются при нагревании то есть данный вид жесткости не вызывает отложения накипи на нагревательных элементах.

Солевое содержание воды носит не постоянный характер, и изменяется в течение года, например, по результатам проведенного исследования [2] сделали вывод, что содержание солей кальция в большинстве проб воды весной несколько больше, чем в другие времена года. Вероятно, это происходит благодаря быстрому выщелачиванию солей кальция, находящихся в породах и почвах, что способствует большей концентрации кальция в подземных водах и в целом повышению жесткости.

При кипячении воды с карбонатной жесткостью гидрокарбонаты кальция и магния разлагаются с образованием осадка средних солей:

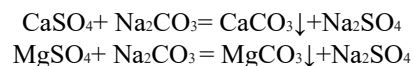


Карбонатную жесткость, в больших масштабах, можно устранить действием известкового молока или соды:



Некарбонатная, или постоянная жесткость обусловлена присутствием в воде других растворимых солей кальция и магния: хлоридов и сульфатов. В отличие от карбонатной жесткости, постоянная жесткость не может быть устранена кипячением.

Ее устраняют действием соды [1]:



Для выявления количественного состава солей, содержащихся в водопроводной воде города Астана, в феврале 2024 было отобрано по 10 проб воды и отправлено в несколько сертифицированных лаборатории городов Алматы и Астаны для исследования, которое проводилось при температуре 23-24 °С и влажности 56-61%. Согласно протоколам испытания был проведен тщательный анализ, который показал в воде наличие следующих наименований солей и химических соединений (рисунок 1).

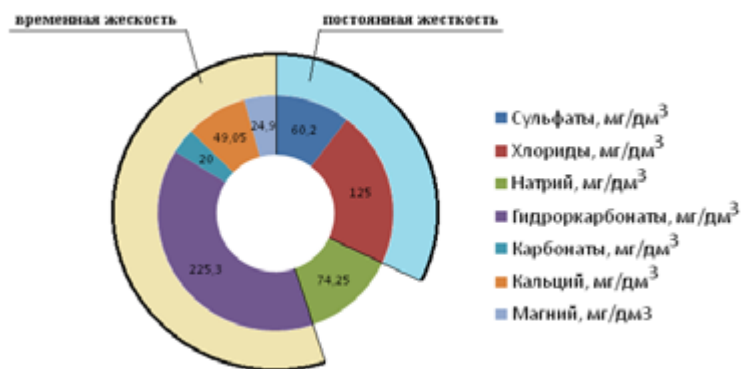


Рисунок 1- Химический анализ воды из городской водопроводной сети, мг/дм³

Как уже отмечалось выше, к солям временной жесткости относятся: кальций, магний и их карбонаты, гидрокарбонаты и как видно из рисунка 1 их доля в составе воды является значительной. При кипячении вода смягчается, так как кальций и магний переходят в нерастворимую форму, которая выпадает в осадок. Гидрокарбонат обладает щелочными свойствами и поддерживает стабильный уровень рН. Натрий это побочный продукт, получаемый во время фильтрации воды от солей жесткости, его концентрация обуславливает минерализацию воды. Образование хлоридов в воде зависит от засоления почв и естественный круговорот осадков, в сочетании с натрием приводит к образованию поваренной соли. Повышенная концентрация хлоридов даёт воде солёный вкус и делает её непригодной хозяйственных нужд и использования в технических целях. В совокупности сульфаты и хлориды (MgSO₄; MgCl₂; CaSO₄; CaCl₂;) образуют постоянную жесткость, которая не убирается кипячением и, следовательно, не даёт осадок.

В быту и на производстве слишком солёная вода агрессивно воздействует на металлические поверхности, заметно увеличивая интенсивность их коррозии. От такой воды на поверхности нагревательных элементов со временем образуется накипь. Это снижает их теплопроводность, увеличивает расход энергии и приводит к необратимым поломкам оборудования [3].

В процессе создания цикла водоснабжения одна из важнейших задач заключается в предотвращении отложения солей жесткости на внутренних стенках трубопроводов. В основном для снижения жёсткости воды в промышленных процессах используют реагентные методы основанные на использовании различных химических веществ, образующих малорастворимые соединения, которые затем отделяются в фильтрах, осветителях и очистителях.

Очень часто в качестве реагентов используются известь с кальцинированной содой, гидроксиды натрия и бария, другие вещества. Известь вводят в подогретую воду в виде суспензии или раствора, для удаления образовавшихся коллоидных примесей из обрабатываемой воды, а также с целью снижения ее щелочности применяют коагуляцию этих примесей сульфатом Fe²⁺ [4].

При обработки воды известковым молоком и железосодержащими коагулянтами, смесь, состоящую из силикат щелочного металла, этилового спирта и хлористого калия добавляют в воду, после чего она отстаивается и выделившийся осадок в виде геля отделяют центрифугой [5].

При добавлении в воду едкого натра (NaOH) начинается интенсивное образование малорастворимых соединений карбоната кальция и гидроксида магния, которые в дальнейшем могут быть эффективно удалены из воды при помощи существующих технологических сооружений. Интенсификация

процессов осаждения нерастворимых соединений, как правило, проводится с применением коагулянтов на основе солей железа [6].

При очистке воды от солей накипи электролизом в воду также добавляют различные реагенты содержащие, например: хлорид натрия; нитрит аммония; углекислый газ и т.д.; и помещают в бак, где с помощью электродов через нее пропускают электрический ток. В результате реакций обмена в камерах электролизера карбонатные, бикарбонатные, хлоридные и другие соли переводятся в нитриты, которые под действием электрического тока образуют коллоидную систему с солями жесткости, выделяя их в осадок [7].

Так же для устранения отложений накипи применяют различные ингибиторы, однако они не снижают количество солей кальция и магния в воде, а лишь создает условия, препятствующие укрупнению их агрегатов. В результате такой обработки, воду из цикла приходится выводить и заменять на свежую с меньшим содержанием солей жесткости [4].

Перечисленные выше способы несомненно дают очень высокую эффективность (80-90 %), но их осуществление связано с определенными затратами и трудностями. Например: использование дефицитных соединений; громоздкое очистное сооружение; необходимость дополнительного подогрева воды из-за неполноты выпадения солей; необходимость подкисления или подщелачивания воды и как следствие увеличение объемов дополнительных реагентов; высокий расход химических реагентов и невозможность утилизации образующихся влажных осадков; значительная часть себестоимости воды приходится именно на обработку (утилизацию) отходов водоочистки. При проведении процесса электролиза воду так же нужно отстаивать и фильтровать, что способствует сложности аппаратного оформления и увеличению, как капитальных затрат на установку, так и эксплуатационных затрат на приобретение дополнительных реагентов. Так же существует необходимость в защите самих анодов и катодов от накипи.

Изучив химические способы очистки воды от солей жесткости можно сделать следующие заключение: для осуществления водоподготовки химическим методом необходимо затрачивать дополнительные силы на проведение предварительного анализа поступающей воды, точный расчет пропорций необходимых реагентов, решать проблемы с утилизацией использованной воды и так далее. Так же при подготовке реагентов необходимо их перемешивание с помощью аэрации, осуществлять отстаивание и фильтрование, что приводит к увеличению времени и трудозатрат.

Материалы и методы

Магнитная обработка воды - это эффективный и экологичный метод, применяемый для предотвращения образования накипи в различных системах, где вода играет ключевую роль.

Например для тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения: накипь в трубах теплосетей и водопроводов приводит к снижению теплоотдачи, увеличению затрат на отопление и горячее водоснабжение, а также к преждевременному износу системы [8].

Преимущества магнитной обработки воды вполне очевидны:

1) Простота. Установка магнитных устройств не требует сложных процедур и может быть выполнена на уже существующих системах без остановки работы.

2) Дешевизна. Стоимость оборудования для магнитной обработки воды значительно ниже, чем стоимость химических методов борьбы с накипью.

3) Безопасность. Магнитные поля не оказывают негативного влияния на здоровье человека и окружающую среду.

4) Отсутствие эксплуатационных расходов. После установки магнитного устройства не требуется никаких дополнительных затрат на обслуживание и расходные материалы.

Суть магнитной обработки заключается в воздействии на структуру молекул воды магнитными полями, создаваемые специальными устройствами, меняя её физико-химические свойства [9].

Для изучения физико-химических процессов происходящих в водном растворе при его магнитной обработке, была разработана и сконструирована установка для магнитной обработки воды с помощью постоянных магнитов (рисунок 2). Она состоит из 8 модулей, на которых с помощью изоляционной ленты закреплены постоянные высокоэнергетические магниты, изготовленные из сплава неодим-железо-бор (Nd-Fe-B) с разным количеством и степенью напряженности магнитного поля, для выявления наиболее оптимального результата. Общее количество магнитов в установке составило 71 штук, напряженность магнитного поля варьировалась в пределах от 90 до 400 мкТл, в зависимости от диаметра магнита. Вода через магнитные модули прогонялась с помощью насоса со скоростью 3 литра в минуту, заливалась в чистую тару и отправлялась на экспертизу совместно с образцами воды, которые не подвергались воздействию магнитного поля.

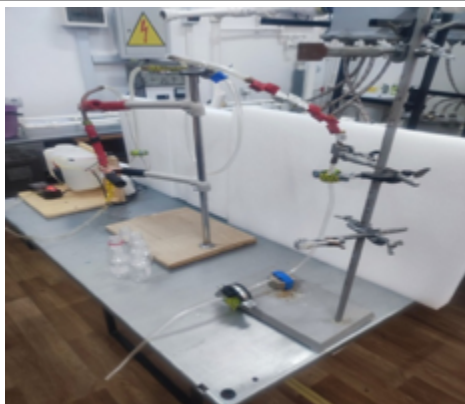


Рисунок 2 – Установка для магнитного преобразования воды (фото)

Результаты и обсуждение

Вода является сложной молекулярной системой, где молекулы, подобно крошечным магнитам, взаимодействуют друг с другом, создавая определенные структуры. Каждая молекула воды (H_2O) обладает электрическим дипольным моментом - она как миниатюрный магнит с положительным (H^+) и отрицательным (OH^-) полюсами. Эти диполи, притягиваются друг к другу, формируя кластеры- небольшие группы молекул, которые вращаются и движутся как единое целое.

Кластеры притягивают к себе ионы, растворенные в воде, например, кальций (Ca^{2+}) и карбонат (CO_3^{2-}). Эти ионы прилипают к кластерам, образуя вокруг себя своеобразную броню из молекул воды. Именно эта броня и мешает ионам кальция и карбоната соединиться, образуя нерастворимый карбонат кальция ($CaCO_3$), который и составляет основу накипи [10].

Тепло это своего рода энергия раздора, и при нагревании воды кластерные структуры разрушаются. Ионы кальция и карбоната, лишённые защиты кластеров, свободно взаимодействуют между собой, образуя карбонат кальция ($CaCO_3$). Эти твердые частицы оседают на стенках труб и нагревательных элементах, формируя слой накипи, который не только снижает эффективность теплопередачи, но и может привести к поломке оборудования.

Теперь посмотрим, что же происходит, когда вода проходит через магнитное поле. В магнитном преобразователе воды магниты расположены таким образом, чтобы их поля создавали некие «волны» на коротком расстоянии. Когда вода проходит через эту «магнитную волну», молекулы воды под действием силы Лоренца начинают колебаться, что также приводит

к разрушению кластерных структур. Броня вокруг ионов слабеет, ионы как бы становятся более доступными для взаимодействия. При этом разрушенные кластеры не просто избавляются от ионов, они становятся центрами кристаллизации (рисунок 3).

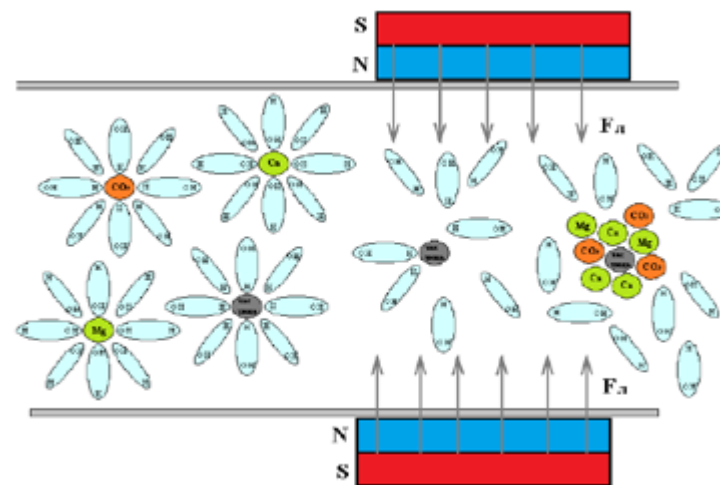


Рисунок 3 – Процесс воздействия магнитного поля на молекулу воды

Когда ионы кальция и карбоната встречаются разрушенным кластером, они словно прилипают к нему, формируя крошечные кристаллы карбоната кальция - арагониты. Эти кристаллы, называемые центрами кристаллизации, становятся ядрами, вокруг которых растут новые кристаллы. В итоге, вместо того чтобы оседать на стенках труб, карбонат кальция застревает в толще воды, запакованный в крошечные кристаллы арагонита. Магнитно-активированная вода при нагревании уже не образует отложений накипи. Действие магнитов заключается в том, что они как бы перенаправляют процесс кристаллизации, превращая накипь в взвесь мелких кристаллов, которые легко удаляются из системы.

Важно отметить, что механизм магнитной обработки воды не является идеальным и имеет свои ограничения. Эффективность магнитного воздействия зависит от многих факторов: концентрации содержащихся солей в воде, температуры и скорости течения воды, а так же от типа расположения магнитов. Несмотря на это, магнитная обработка воды является перспективной технологией для предотвращения образования накипи

в системах отопления, горячего водоснабжения и других технических устройствах.

Для подтверждения описанной гипотезы электрохимических процессов при помощи тринокулярного микроскопа Биомед-6 в комплектации с цифровой USB-камерой ТС-5 были сделаны снимки образцов воды обработанной и необработанной магнитным полем. Для приготовления препарата в центр чистого предметного стекла с помощью пипетки помещались две капли образцов исследуемой воды. Далее образцы были высушены в термостате при комнатной температуре, без каких-либо внешних и термических влияний, для осуществления достоверности результата. По итогу были зафиксированы изменения, произошедшие в воде до и после воздействия магнитного поля (рисунок 4). В ходе проведенного анализа можно сказать, что при магнитной обработке наблюдаются изменения в структуре воды: соли жесткости под действием магнитного поля объединяются в коллоидные системы, которые отчетливо видны при многократном увеличении (рисунок 4г).

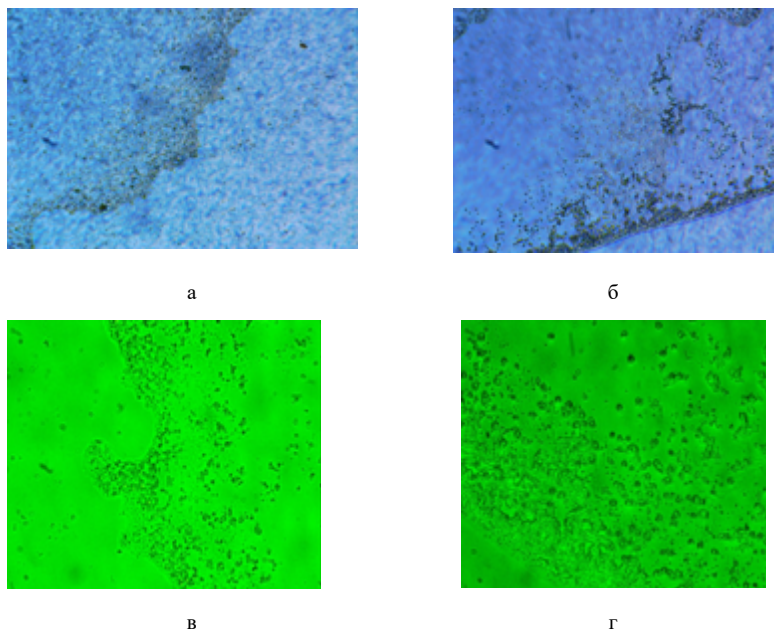


Рисунок 4 – Фото образцов воды до магнитной обработки и после нее увеличенные при помощи микроскопа: (а – необработанная вода и б – обработанная вода при 10 кратном увеличении; в – необработанная вода и г – обработанная вода, при 40 кратном увеличении).

Информация о финансировании

Исследования профинансированы за счет средств гранта АР19679359 «Разработка системы магнитной обработки технической воды для снижения образования накипи на поверхности нагрева теплоэнергетического оборудования».

Выводы

При магнитной обработке с помощью постоянных магнитов, происходит перераспределение накипи, и значительная ее часть уносится с потоком воды, так как образование кристаллов накипи происходит не на стенках теплообменных элементов, а в самом теле теплоносителя (воды). Магнитное поле формирует центры кристаллизации солей жесткости, которые попадая на поверхность нагрева не вызывают образование твердых отложений.

Эффективность данного способа заключается в следующих позициях: отказ от использования химии в водоподготовке, снижение эксплуатационных затрат, в том числе снижение расходов на складирование и предпринимаемые меры безопасности с химическими реагентами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Канатникова, Н. В., Захарченко, Г. Л. Анализ качества питьевой воды Орловской области по содержанию солей жесткости// Экология урбанизированных территорий. – 2009. – №2. – С.16–20.

2 Немцева, К.С. Исследование влияния сезонности на содержание основных солей жесткости в воде минеральной «Принцесса Ольденбургская»// Сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции. В 4-х томах. – 2020. – Том 3. – С. 19–22.

3 Влияние хлоридов на свойства воды. [Электронный ресурс]. – URL : <https://voda.kr-company.ru/analiz/issleduemye-pokazateli/hloridy/> (Дата обращения 26.09.2024).

4 Юрченко, В. В., Свиридов, А. В., Никифоров, А. Ф., Свиридов, В.В. Умягчение воды адсорбцией солей жесткости высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами//Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. –2016. №3(99). – С. 16–21.

5 Абдуллаев, М. Б., Алиев, В. С., Альтман, Н. Б., Гутерман, А. Д., Исмаилов, Т. К., Рустамов, М. И., Сулейманов, А. Б. Способ очистки сточных вод содержащих соли жесткости, нефтепродукты и ионы металлов.// Патент на изобретение С02 С5/02. Заявка № 2373867/29-26 от 23.06.1976.

6 Федотов, Р. В., Чепкасова, Н. И., Щукин, С. А., Лапина, И. А., Кузнецов, М. С. Исследование возможности применения оксихлорида

алюминия в технологии едконатрового умягчения воды// Фундаментальные исследования. –2017. – №9–2. – С. 367–372.

7 **Шинкевич, О. П., Шинкевич, Е. О., Демидова, Ю. М.** Способ умягчения природной воды// Патент на изобретение RU 2441847 C1, 10.02.2012. Заявка № 2010125734/05 от 23.06.2010.

8 **A. D. Mekhtiyev, YE. Zh. Sarsikayev, A. V. Atyaksheva, A. D. Atyaksheva, T. S. Gerassimenko, A. D. Alkina.** Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of ferroalloy electric furnace cooling systems. *Metalurgija* 60 (2021) 3-4, 321–324.

9 **Busch, K. W., Busch, M. A., Parker, D. H., Darling, R. E., McAtee, J. L.** Laboratory studies involving magnetic water treatment devices. [Text] // *Physics and Materials Chemistry*. – 2013, – Vol. 1 – No. 2, – P. 34 – 40.

10 **Томили, А. К., Беспалов, В. И., Беспалов, В. В.** Технология магнитной обработки воды против солеотложения: теория и практика// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2001. –Т. 332. – №1. – С. 54–63.

REFERENCES

1 **Kanatnikova, N. V., Zakharchenko, G. L.** Analiz kachestva pit'evoi vody Orlovskoi oblasti po sodержaniyu solei zhestkosti. [Analysis of the quality of drinking water in the Orel region by the content of hardness salts]// *Ecology of urbanized territories*. - 2009. – No 2. – P. 16–20.

2 **Nemtseva, K. S.** Issledovanie vliianiia sezonnosti na sodержanie osnovnykh solei zhestkosti v vode mineral'noi «Printsessa Ol'denburgskaia». [Investigation of the influence of seasonality on the content of basic hardness salts in mineral water «Princess of Oldenburg»]// *Collection of scientific articles of the All-Russian Youth Scientific Conference*. In 4 volumes. – 2020. – Vol. 3. – P. 19–22.

3 **Vliianie khloridov na svoystva vody.** [The effect of chlorides on water properties]. [Electronic resource]. – URL: <https://voda.kr-company.ru/analiz/issleduemye-pokazateli/hloridy/>

4 **Iurchenko, V. V., Sviridov, A.V., Nikiforov, A. F., Sviridov, V. V.** Umiagchenie vody adsorbtsiei solei zhestkosti vysokodispersnymi modifitsirovannymi aliumosilikatami. [Softening of water by adsorption of hardness salts with highly dispersed modified aluminosilicates]// *Water treatment. Water treatment. Water supply*. – 2016. - No 3(99). – P. 16–21.

5 **Abdullaev, M.B., Aliev, V.S., Al'tman, N.B., Guterman, A.D., Ismailov, T.K., Rustamov, M.I., Suleimanov, A.B.** Sposob ochistki stochnykh vod sodержashchikh soli zhestkosti, nefteprodukty i iony metallov. [A method for

treating wastewater containing hardness salts, petroleum products and metal ions]// A patent for an invention S02 S5/02. Zaiavka No 2373867/29-26 ot 23.06.1976.

6 **Fedotov, R. V., Chepkasova, N. I., SHCHukin, S. A., Lapina, I. A., Kuznetsov, M. S.** Issledovanie vozmozhnosti primeneniia oksikhlorida aliuminiia v tekhnologii edkonatrovogo umiagcheniia vody. [Investigation of the possibility of using aluminum oxychloride in the technology of water softening]// *Basic research*. – 2017. – No 9-2. – P. 367–372.

7 **Shinkevich, O.P., SHinkevich, E.O., Demidova, I.U.M.** Sposob umiagcheniia prirodnoi vody. [Natural water softening method]// A patent for an invention RU 2441847 C1, 10.02.2012. Application No 2010125734/05 ot 23.06.2010.

8 **Mekhtiyev, A.D. Sarsikayev, YE.ZH. Atyaksheva, A.V. Atyaksheva, A. D. Gerassimenko, T. S. Alkina, A. D.** Sposob predotvrashheniya otlozhenij na vnutrennej poverxnosti cirkulyacionny`x vodoprovodov sistem oxlazhdeniya e`lektropechi.` [Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling systems]// *METALURGIJA* 60(2021) 3-4, P. 321–324. (<https://hrcak.srce.hr/256098>).

9 **Busch, K. W., Busch, M. A., Parker, D. H., Darling, R. E., McAtee, J. L.** Laboratorny`e issledovaniya s ispol'zovaniem ustrojstv magnitno jochistki vody`. [Laboratory studies involving magnetic water treatment devices]// *Physics and Materials Chemistry*. 2013, Vol. 1 No. 2, P. 34–40.

10 **Tomilin, A. K., Bespalov, V. I., Bespalov, V. V.** Tekhnologiya magnitnoi obrabotki vody protiv soleotlozheniia: teoriia i praktika. [Technology of magnetic water treatment against salt deposition: theory and practice]// *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. – 2001. – Vol. 332. -No 1. – P. 54–63.

Поступило в редакцию 27.09.24

Поступило с исправлениями 15.10.24

Принято в печать 04.12.24

*A. D. Mehdiyev¹, *T. S. Gerasimenko², E. J. Sarsikeev³, A. Kasiphan⁴,
L. N. Kirichenko⁵*

^{1,2,3,4,5}Қазақ агротехникалық зерттеу университеті. С. Сейфуллина,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

27.09.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАҚТЫ АЗАЙТУ ҮШІН МАГНИТТІК ӨНДЕУ НӘТИЖЕСІНДЕ СУДЫҢ МИНЕРАЛДАНУЫН БАҒАЛАУ

Оның салдарын жоюдан гөрі мәселені алдын-алу әрдайым оңайырақ, сондықтан суды дайындау кезінде құбыр қызған кезде ішкі қабырғаларда қақтың пайда болуын болдырмау үшін судың қаттылығын төмендетудің әртүрлі тәсілдерін қолданыңыз.

Мақалада қақ тұздарынан суды тазартудың ең көп қолданылатын химиялық әдістері қарастырылады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері жинақталған. Сондай-ақ, тұрақты магниттердің көмегімен қақты жоюдың реагентсіз әдісі ұсынылған.

Бұл жұмыстың мақсаты магнит өрісінің суда еріген қаттылық тұздары бар суға әсер етуінің физика-химиялық механизмдерін қарастыру, сондай-ақ қыздыру үшін пайдаланылатын судың тұз құрамын зерттеу болды.

Зерттеу барысында магнит өрісі арқылы өткен кезде судағы электрохимиялық процестердің гипотезасын нақты растайтын нәтиже алынды: суда тұздар иондар түрінде болады, магнит өрісі оларды поляризациялайды, яғни олардың гидрат қабықтарын бөліп, деформациялайды, осылайша тұздардың кристалдану процесіне ықпал етеді, яғни кристалдану орталықтарының пайда болуы, олардың магнит өрісі арқылы пайда болады. кальций мен магний катиондары адсорбцияланады. Нәтижесінде ұсақ кристалды форма пайда болады, ол сулы ерітіндіде қалады және оны қыздырған кезде жылу алмастырғыштардың бөліктерінде қатты тұнбаға түспейді, бірақ түбіне илам немесе ұсақ құм түрінде түседі.

Кілтті сөздер: карбонатты қаттылық, кальций және магний карбонаты, магниттік өңдеу, масштабтау, реагенттік әдістер.

*A. D. Mehdiyev¹, *T. S. Gerasimenko², E. J. Sarsikeev³, A. Kasiphan⁴,
L. N. Kirichenko⁵*

^{1,2,3,4,5}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

Astana

Received 27.09.24

Received in revised form 15.10.24

Accepted for publication 04.12.24

ASSESSMENT OF WATER MINERALIZATION AS A RESULT OF ITS MAGNETIC TREATMENT TO REDUCE SCALE

It is always much easier to prevent a problem than to eliminate its consequences, therefore, during water treatment, various methods are used to reduce the hardness of water to eliminate the formation of scale on the inner walls of the pipeline when it is heated.

The article discusses the most widely used chemical methods of water purification from scale salts, summarizes their advantages and disadvantages. A non-reactive method of scale removal using permanent magnets is also proposed.

The purpose of this work was to consider the physico-chemical mechanisms of the effect of a magnetic field on water with hardness salts dissolved in it, as well as to study the salt composition of the water used for heating.

In the course of the study, a result was obtained that clearly confirms the hypothesis of electrochemical processes in water when it passes through a magnetic field: salts exist in water in the form of ions, the magnetic field polarizes them, that is, separates and deforms their hydrate shells, thereby contributing to the process of salt crystallization, that is, the formation of crystallization centers occurs, on which adsorb calcium and magnesium cations. As a result, a fine crystalline form is formed, which remains in an aqueous solution and, when heated, does not precipitate in solid form on parts of the heat exchangers, but falls to the bottom in the form of sludge or fine sand.

Keywords: carbonate hardness, calcium and magnesium carbonate, magnetic treatment, scale, reagent methods.

<https://doi.org/10.48081/OCUM7990>

***С. С. Молдахметов¹, Д. В. Риттер², Е. Т. Доскужинов³**

^{1,2,3}Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,

Республика Казахстан, г. Петропавловск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9153-496X>

*e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz

АКТИВНАЯ СИСТЕМА ОТВОДА ТЕПЛА ОТ СИЛОВОГО ИНВЕРТОРА МОЩНОСТЬЮ 3 КВТ

В статье представлена разработка и исследование активной системы отвода тепла для силового инвертора мощностью 3 кВт. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности силовых инверторов, широко применяемых в условиях роста использования возобновляемых источников энергии. Система отвода тепла реализована для мостового инвертора, собранного на силовых IGBT модулях FUJI 2MBI200L-060. В ходе исследования произведены оценка выделяемого тепла путем расчета и моделирования потерь в процессе инвертирования с помощью программного обеспечения Fuji IGBT Simulator 6.0.3. Произведен расчет системы охлаждения на основе ребристого алюминиевого радиатора. Проведены экспериментальные испытания на основе силового инвертора мощностью 3 кВт. Моделирование и эксперимент подтвердили эффективность выбранной конструкции радиатора и вентилятора, обеспечивающих стабильный температурный режим. Установлено, что вентилятор активируется каждые 35 минут и работает менее 10 минут, что оптимизирует энергозатраты на охлаждение и снижает износ компонентов. Разработанная система охлаждения предотвращает перегрев инвертора, поддерживая его стабильную работу в промышленных условиях. Полученные результаты и предложенная методика могут быть использованы при проектировании систем теплового отвода для силовых установок аналогичного типа.

Ключевые слова: система охлаждения, силовой инвертор, отвода тепла, IGBT, радиатор.

Введение

Разработка и совершенствование силовых инверторов позволяет повысить эффективность работы электрооборудования, снизить потери энергии и уменьшить нагрузку на электрическую сеть. Популярность силовых инверторов особенно возрастает в условиях перехода на возобновляемые источники энергии, где требуются надежные и высокоэффективные инверторы для стабильного подключения к энергосистеме. При этом силовые инверторы строятся на базе силовых полупроводниковых компонентов, таких как биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), и полевые транзисторы с управляющим электродом (MOSFET) [1; 2]. Современная силовая электроника предлагает комплексные устройства, объединяющие несколько силовых транзисторов, т.е. транзисторные модули [3]. Применение таких модулей повышает надежность и долговечность инверторов, так как сокращает количество необходимых соединений и уменьшает потери на контактах, что улучшает общую эффективность работы инвертора. Но стоимость таких компонентов достаточно высокая. Поэтому важно иметь в виду, что во время работы инвертора силовые ключи выделяют значительное количество тепла из-за процессов преобразования мощности. Перегрев снижает эффективность работы инвертора и может стать причиной сбоев в работе системы, что особенно критично для промышленных применений [4]. Разработка эффективных решений для отвода тепла, таких как использование радиаторов и систем активного охлаждения, позволяет существенно увеличить срок службы оборудования и снизить эксплуатационные затраты. Таким образом, оптимизация систем охлаждения инверторов способствует повышению их производительности и устойчивости работы, что особенно важно в условиях растущего спроса на энергоэффективные и надежные решения в электроэнергетике.

Материалы и методы

В процессе разработки и исследования системы отвода тепла от силовых инверторов были использованы комплексные методы теплового анализа и моделирования. На первом этапе применялись анализ справочной и научной технической литературы. Для численных методов расчета распределения температур и отвода тепла использованы данные производителей транзисторных модулей. Для верификации результатов моделирования были проведены экспериментальные испытания с использованием термодатчиков, что позволило оценить эффективность разработанной конструкции системы охлаждения.

В качестве опытного образца был реализован инвертор по топологии на основе H-моста и коммутатора уровней [5], схема которого показана на рисунке 1. Исходные данные для расчета инвертора мощностью до 3 кВт включают действующее значение напряжения 220 В и частоту 50 Гц. Амплитуда коммутируемых токов в таком случае при синусоидальном напряжении и коэффициенте мощности 0,9 [6, с. 70], составит 22 А.

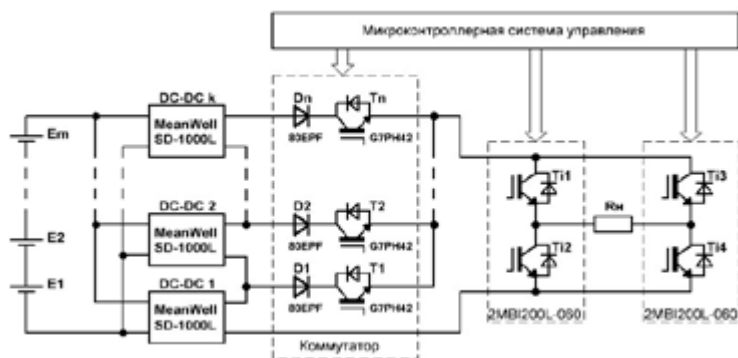


Рисунок 1 – Структурная схема инвертора

Мостовой инвертор реализован на силовых модулях FUJI 2MBI200L-060, которые представляют собой два соединенных в полумост IGBT. Данные модули рассчитаны на коммутацию тока до 200 А и напряжения до 600 В. Параметры данного модуля, необходимые для расчета потерь, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры транзисторного модуля 2MBI200L-060

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Напряжение насыщения между коллектором и эмиттером	$V_{CE(sat)}$	2,7	В
Энергия включения IGBT	E_{on}	2374	мкДж
Энергия выключения IGBT	E_{off}	1424	мкДж
Падение напряжения на встречно-параллельном диоде	V_f	2,5	В
Энергия обратного восстановления встречно-параллельного диода	E_{rec}	1475	мкДж

Тепловое сопротивление кристалл IGBT - корпус	$R_{IGBT(j-c)}$	0,156	°C/Вт
Тепловое сопротивление кристалл диода - корпус	$R_{VD(j-c)}$	0,30	°C/Вт
Тепловое сопротивление корпус модуля - радиатор	$R_{mod(c-f)}$	0,025	°C/Вт

Общие потери на одном IGBT ключе составляют сумму статических и динамических потерь и рассчитаны по формуле:

$$P_{IGBT} = 0,23 \cdot \left(V_{CEsat} \cdot I_{max} + (E_{on} + E_{off}) \cdot f \cdot \frac{1}{\pi} \right) \quad (1)$$

Общие потери на встречно-параллельном диоде транзистора рассчитывались по формуле:

$$P_{VD} = 0,1 \cdot V_f \cdot I_{max} + E_{rec} \cdot f \cdot \frac{1}{\pi} \quad (2)$$

Суммарные потери мощности инвертора из расчета, что мостовой инвертор представлен четырьмя транзисторами составляют:

$$P_{потерь} = 4(P_{IGBT} + P_{VD}) = 4(13,37 + 3,6) = 67,88 \text{ Вт.}$$

Таким образом, по результатам расчета мощность, рассеиваемая двумя транзисторными модулями 2MBI200L-060 в процессе инвертирования, составляет 68 Вт.

Оценку этой же мощности можно произвести путем моделирования процесса инвертирования при помощи специального программного обеспечения Fuji IGBT Simulator 6.0.3. Данная программа позволяет выбрать тип модуля Fuji, просмотреть техническую информацию, а главное – оценить потери и изменение температуры кристаллов IGBT и встречно-параллельного диода в зависимости от нагрузки, схемы и способа инвертирования напряжения [7]. На рисунке 2 показан результат моделирования потерь для нашего случая в программе Fuji IGBT Simulator.

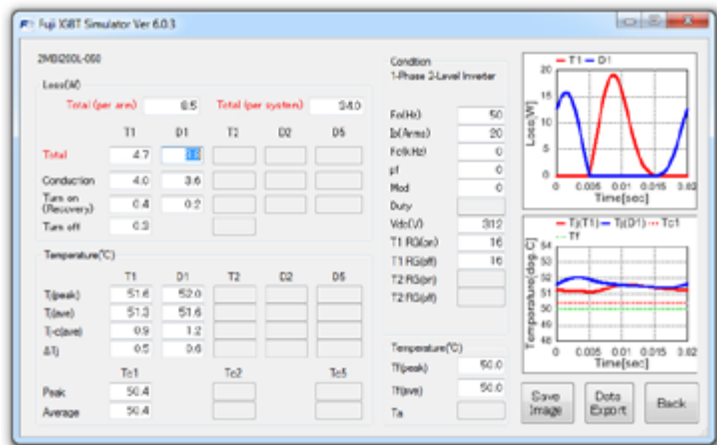
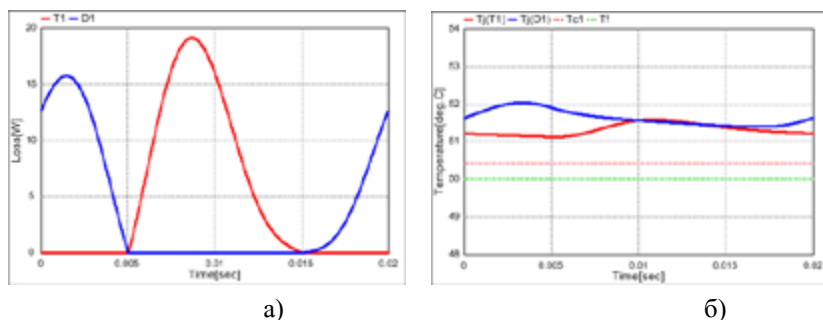


Рисунок 2 – Моделирование потерь в Fuji IGBT Simulator 6.0.3

В результате моделирования мощность потерь для одного IGBT составила 4,7 Вт, а для одного встречно-параллельного диода – 3,8 Вт. На рисунке 3а представлен график изменения потерь в течение одного периода. При этом красным цветом показано изменение потерь для IGBT, а синим – для встречно-параллельного диода. График, представленный рисунке 3б, показывает изменения температур кристаллов IGBT и диода в течение периода при условии, что температура радиатора охлаждения равна 50 °С.



а) потери в течение периода; б) изменение температуры кристаллов в течение периода

Рисунок 3 – Результаты моделирования

В итоге согласно моделированию на всю систему рассеиваемая мощность составила 34 Вт.

Разработка системы охлаждения

Для обеспечения эффективного охлаждения и предотвращения перегрева рекомендуется использовать цельный ребристый алюминиевый радиатор с естественной вентиляцией и возможностью дополнительного обдува вентилятором при достижении критических температур [8, с. 129]. Так как моделирование показало, что реальная мощность потерь оказывается меньше расчетной, параметры радиатора были подобраны с учетом максимального возможного значения мощности. Следующим шагом является расчет температурной защиты, а именно определение температуры, при которой вентилятор будет автоматически активироваться для охлаждения радиатора. Значения расчетов при максимальной температуре эксплуатации для корпуса M219 модуля 2MBI200L-060 равной 150 °С сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры определения допустимых температур

Параметр	Формула	Значение
Максимально допустимая температура транзисторов	$T_{max(IGBT)} = T_{max} - R_{IGBT(j-c)} \cdot P_{IGBT}$	145 °С
Максимально допустимая температура встречно-параллельных диодов	$T_{max(VD)} = T_{max} - R_{VD(j-c)} \cdot P_{VD}$	147 °С
Максимально допустимая температура радиатора	$T_{рад} = T_{max(IGBT)} - R_{mod(c-f)} \cdot P_{потерь}$	144 °С.

Таким образом, перегрев радиатора охлаждения выше 144 °С недопустим, так как это может привести к выходу системы из строя. Чтобы избежать таких ситуаций, рекомендуется настроить температурную защиту с запасом в пределах 20–30 °С. Исходя из предположения, что инвертор эксплуатируется в помещении с комнатной температурой 25 °С, перегрев радиатора ΔT составит 90 °С.

Далее рассчитывается площадь поверхности теплоотвода радиатора S при условии, что необходимо рассеять мощность $P_{потерь}$, равную 67,88 Вт:

$$S = \left(\frac{50 \cdot P_{потерь}}{\Delta T} \right)^2 = \left(\frac{50 \cdot 67,88 \text{ Вт}}{90 \text{ °С}} \right)^2 = 1422 \text{ см}^2.$$

Таким образом, силовые транзисторные модули следует установить на алюминиевый радиатор с поверхностью площадью не менее 1422 см², что обеспечит необходимое охлаждение. Для инвертора выбран 12-реберный алюминиевый радиатор, обеспечивающий эффективное теплоотведение.

Параметры радиатора, использованные при расчете его поверхности, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Метрические параметры радиатора

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Количество ребер	n	12	шт.
Длина несущего основания	l	14	см
Ширина несущего основания	w	10	см
Толщина несущего основания	a	1,2	см
Высота ребра	b	4,8	см
Ширина ребра	c	0,3	см
Расстояние между ребрами	d	0,95	см

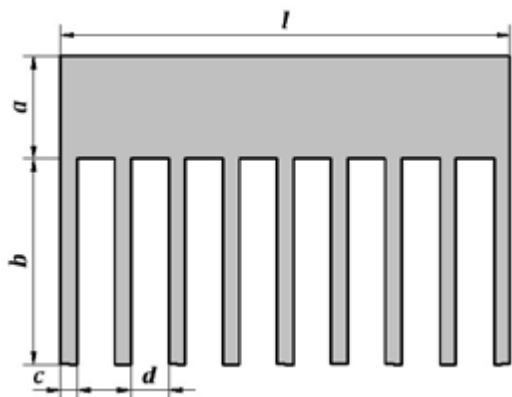
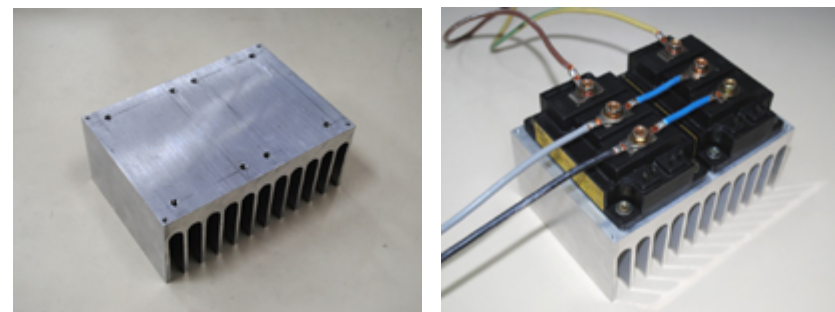


Рисунок 4 – Чертеж для расчета площади поверхности радиатора

Согласно данным таблицы 3 и чертежу, представленному на рисунке 4, расчет площади поверхности радиатора производится по следующей формуле [9, с. 72]:

$$S = (2 \cdot a + n \cdot (2 \cdot b + c + d) + l - d) \cdot w.$$

Площадь поверхности радиатора составляет 1456,5 см², что полностью удовлетворяет требованиям, рассчитанным ранее. Данный радиатор показан на рисунке 5.



а)

б)

а) радиатор с отверстиями для монтажа;
б) крепление транзисторных модулей к радиатору

Рисунок 5 – Радиатор охлаждения

Транзисторные модули 2MBI200L-060 установлены на основании радиатора через кремнийорганическую теплопроводную пасту КПТ-8 и плотно закреплены винтами [10], для чего в нем предварительно нарезана резьба.

Вся система отвода тепла от силового инвертора представляет собой комплекс из радиатора, через ребра которого продувается воздух с помощью вентилятора. В качестве вентилятора используется Jinli Feng 5010 мощностью 1 Вт. Пороги включения и отключения выставлены на 75 и 50 °С, соответственно.

В ходе экспериментального исследования рабочего режима силового инвертора проводились замеры температуры радиатора для оценки его тепловой эффективности и соответствия расчетным данным. В процессе работы инвертора температура радиатора фиксировалась с использованием температурных датчиков DS18B20, установленных в ключевых точках поверхности.

Результаты и обсуждение

Эксперимент проведен в два этапа. На первом этапе проводились замеры температуры радиатора в течение более двух часов без принудительного охлаждения вентиляторами. На втором этапе использована активная система охлаждения.

Экспериментальные данные показали, что температура радиатора остается в пределах допустимых значений при нормальных условиях эксплуатации, подтверждая эффективность выбранной системы охлаждения. Как видно из результатов эксперимента (рисунок 6) при пассивном типе

охлаждения радиатор вполне справлялся с отводом тепла и рост температуры радиатора замедлился и не превысил за 2 часа работы 90 °С. Полученные результаты позволяют сделать вывод о стабильности температурного режима радиатора, что является важным показателем для обеспечения надежной работы инвертора.

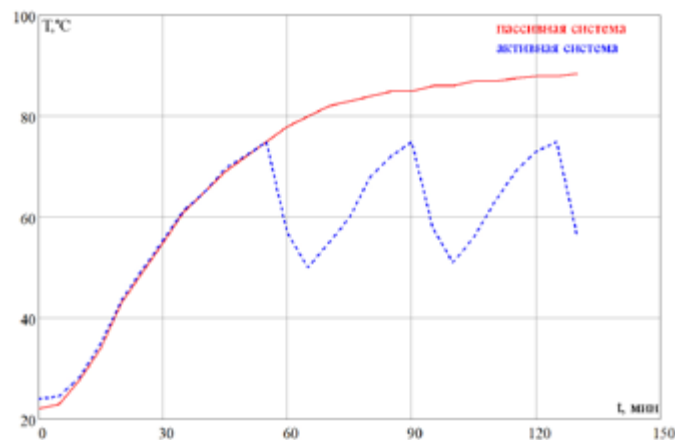


Рисунок 6 – Результаты эксперимента

Согласно результатам экспериментального исследования активной системы отвода тепла, установлено, что вентилятор автоматически включается примерно каждые 35 минут для обеспечения стабильного температурного режима. Средняя продолжительность работы вентилятора составляет менее 10 минут, что позволяет эффективно снизить температуру до допустимого уровня, после чего система переходит в режим простоя на 25 минут. Эти интервалы работы и простоя вентилятора обеспечивают оптимальное охлаждение, минимизируя энергозатраты и износ системы. При этом пороговые значения температуры включения и отключения вентилятора могут быть изменены.

Информация о финансировании (при наличии)

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP13268732).

Выводы

В результате проведенных моделирования и экспериментального исследования подтверждена корректность расчета активной системы отвода тепла для силового инвертора мощностью 3 кВт. Система успешно

поддерживает необходимый тепловой режим, предотвращая перегрев и обеспечивая стабильную работу инвертора в заданных условиях эксплуатации. Это свидетельствует о точности применённых методов расчета и адекватности выбранных параметров системы охлаждения, что позволяет использовать разработанную методику для проектирования аналогичных тепловых систем в силовых электроустановках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Tanvir Ahmad, M. I., Rehman, S. U.** A survey report on multilevel-inverter topologies [Текст] // International Journal of Engineering Works. – 2019. – № 6(7). – P. 228–234. doi: 10.34259/ijew.19.607288234.

2 **Manivelan, C.** A survey on multilevel inverter topologies and control schemes with harmonic elimination [Текст] // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2020. – P. 1–7. doi: 10.1109/ICOECS50468.2020.9278519.

3 **Peng, C., Peng, Z., Dai, Y., Xie, S.** Research on life of parallel module of SiC MOSFET/Si IGBT inverter [Текст] // 2023 3rd International Conference on Intelligent Power and Systems. – 2023. – P. 111–115. doi: 10.1109/ICIPS59254.2023.10404518.

4 **Zhang, J., Du, X., Zheng, S.** Condition Monitoring of IGBT Module and Forced Air Cooling System Using Time Constants of Heat Sink Temperature Cooling Curve [Текст] // 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) – 2020. – P. 2554–2558. doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124134.

5 **Moldakhmetov, S., Issebergenov, N., Insepov D., Orynbayev, S.** Implementation of multilevel power inverter [Текст] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – №11 (11). – P. 6886–6890.

6 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. [Текст]. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.

7 **Aydin, M., Beşer, E.** Power loss and thermal temperature calculation of IGBT module by mathematical equations [Текст] // 2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA). – 2023. – P. 862–867. doi: 10.1109/ICoPESA56898.2023.10141374.

8 **Дульнев, Г.Н.** Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. [Текст]. – М.: Высш. шк., 1984. – 274 с.

9 **Роткоп, Л.Л.** Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп, Ю.Е. Спокойный. – М.: Советское радио, 1976. – 232 с.

10 **Gouda, K., Bhowmik, S.** Development of thermal conductive paste for enhancing the heat transfer rate in electrical and electronic devices [Текст] // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – 2022. – P. 1–5. doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988142.

REFERENCES

1 **Tanvir Ahmad, M. I., Rehman, S. U.** A survey report on multilevel inverter topologies [Text] // International Journal of Engineering Works. – 2019. – № 6 (7). – P. 228–234. doi: 10.34259/ijew.19.607288234.

2 **Manivelan, C.** A survey on multilevel inverter topologies and control schemes with harmonic elimination [Text] // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2020. – P. 1–7. doi: 10.1109/ICOECS50468.2020.9278519.

3 **Peng, C., Peng, Z., Dai, Y., Xie, S.** Research on life of parallel module of SiC MOSFET/Si IGBT inverter [Text] // 2023 3rd International Conference on Intelligent Power and Systems. – 2023. – P. 111–115. doi: 10.1109/ICIPS59254.2023.10404518.

4 **Zhang, J., Du, X., Zheng, S.** Condition Monitoring of IGBT Module and Forced Air Cooling System Using Time Constants of Heat Sink Temperature Cooling Curve [Text] // 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) – 2020. – P. 2554–2558. doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124134.

5 **Moldakhmetov, S., Issebergenov, N., Insepov D., Orynbayev, S.** Implementation of multilevel power inverter [Text] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – №11 (11). – P. 6886–6890.

6 **Bessonov, L. A.** Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki: Elektricheskie cepi. Ucheb. dlya studentov elektrotekhnicheskikh, energeticheskikh i priborostroitel'nykh special'nostej vuzov [Theoretical foundations of electrical engineering: Electrical circuits. Textbook for students of electrical engineering, power engineering and instrument-making specialties of higher education institutions]. – 7-e izd., pererab. i dop. [Text]. – M.: Vyssh. shk., 1978. – 528 p.

7 **Aydin, M., Beşer, E.** Power loss and thermal temperature calculation of IGBT module by mathematical equations [Text] // 2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA). – 2023. – P. 862–867. doi: 10.1109/ICoPESA56898.2023.10141374.

8 **Dul'nev, G.N.** Teplo- i massoobmen v radioelektronnoj apparature. [Heat and mass transfer in electronic equipment] [Text]. – M.: Vyssh. shk., 1984. – 274 p.

9 **Rotkop, L.L.** Obespechenie teplovykh rezhimov pri konstruirovanii radioelektronnoj apparatury [Providing thermal conditions when designing

electronic equipment] [Text] / L.L. Rotkop, YU.E. Spokojnyj. – M.: Sovetskoe radio, 1976. – 232 p.

10 **Gouda, K., Bhowmik, S.** Development of thermal conductive paste for enhancing the heat transfer rate in electrical and electronic devices [Text] // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – 2022. – P. 1–5. doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988142.

Поступило в редакцию 05.11.24

Поступило с исправлениями 26.11.24

Принято в печать 04.12.24

***С. С. Молдахметов¹, Д. В. Румтер², Е. Т. Доскужинов³*

^{1,2,3}М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Петропавл қ.

05.11.24 ж. баспаға түсті.

26.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ КҮЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби күзiреттiлiктерiн қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберiнде әзiрленген бiлiктiлiктi арттыру курстары арқылы әлеуметтiк қызметкерлердiң тұлғалық және кәсiби күзiреттiлiгiн қалыптастырудың теориялық моделi ұсынылған. Мақалада модельдеу процесiнiң педагогикалық аспектiлерi, педагогикалық модельдеудiң кезеңдерi келтiрiлген. Модельдiң әдiснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлерi, оның мақсаты, қажеттi құзiреттердiң қалыптасу мониторингi, сондай-ақ нәтижесi ұсынылған. Модельде құзiреттiлiкке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсiлдер, таңдалған құзiреттердi қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетiлген; қалыптасу процесiн iске асыру кезеңдерi, жеке және кәсiби құзiреттердiң қалыптасу деңгейлерi сипатталған. Практикалық дайындық бөлiмiнде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесiнде интерактивтi жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елiмiзде

алғашқы «Кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» Республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің әсеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: салқындату жүйесі, қуат инверторы, жылууды тарату, IGBT, радиатор.

*S. S. Moldakhmetov¹, D. V. Ritter² E. T. Doskuzhinov³

^{1,2,3}North Kazakhstan University named after M. Kozybayev,

Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk

Received 05.11.24

Received in revised form 26.11.24

Accepted for publication 04.12.24

ACTIVE HEAT REMOVAL SYSTEM FOR A 3 KW POWER INVERTER

The article presents the development and study of an active heat dissipation system for a 3 kW power inverter. The relevance of the work is due to the need to improve the reliability and efficiency of power inverters, which are widely used in the context of growing use of renewable energy sources. The heat dissipation system is implemented for a bridge inverter assembled on FUJI 2MBI200L-060 power IGBT modules. The study estimated the emitted heat by calculating and modeling losses during the inversion process using Fuji IGBT Simulator 6.0.3 software. A cooling system based on a finned aluminum radiator was calculated. Experimental tests were conducted based on a 3 kW power inverter. Modeling and experiment confirmed the efficiency of the selected radiator and fan design, which provide a stable temperature regime. It was found that the fan is activated every 35 minutes and operates less than 10 minutes, which optimizes energy costs for cooling and reduces component wear. The developed cooling system prevents inverter overheating, maintaining its stable operation in industrial conditions. The obtained results and the proposed methodology can be used in designing heat removal systems for power plants of a similar type.

Keywords: cooling system, power inverter, heat dissipation, IGBT, radiator.

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/DMZE2729>

*А. Н. Новожилов¹, Д. К. Имангазинова²,
Т. А. Новожилов³, В. Н. Горюнов⁴

^{1,2}Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

^{3,4}Омский Государственный Технический Университет,
Российская Федерация, г. Омск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-1781>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4707-2023>

*e-mail: dinaraigul@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗУБЦОВОГО ДЕЛЕНИЯ СТАТОРА И ФАЗНОГО РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Одним из основных элементов комплекса, с помощью которого осуществляется определение места расположения секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке статора или фазного ротора электрической машины оборудованной кольцевым измерительным преобразователем является электромагнитный индуктор. При диагностике обмоток магнитопровод электромагнитного индуктора устанавливают поочередно на все соседние зубцы магнитопровода статора или фазного ротора и создают магнитный поток, пересекающий диагностируемую секцию. При этом наличие замкнувшихся витков в диагностируемой секции определяют по появлению ЭДС в кольцевом измерительном преобразователе.

Основным параметром, определяющим возможность использования электромагнитного индуктора, является расстояние между его ножками и площадь соприкосновения этих ножек с магнитопроводом статора или ротора диагностируемой электрической машины. Эти параметры непосредственно связаны с величиной зубцового деления этих магнитопроводов. При этом величина зубцового деления зависит от мощности электрической машины и числа пар ее полюсов. Поэтому она может колебаться

в довольно широких пределах. Экспериментальное определение зубцового деления сопряжено со значительными сложностями. В связи с этим разработан простой метод позволяющий определить величину зубцового деления расчетным путем.

Ключевые слова: Электрическая машина, кольцевой измерительный преобразователь, трёхфазная обмотка, зубцовое деление, «скрытое» повреждение, электромагнитный индуктор.

Введение

В соответствии с [1] для реализации способа определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке статора электрической машины оборудованной кольцевым измерительным преобразователем требуется электромагнитный индуктор, который предназначен для формирования магнитного поля в определенных частях магнитопровода. Его конструкция [2] схематично показана на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что основными элементами электромагнитного индуктора является П – образный магнитопровод 1 и обмотка 2. При диагностике ножки 3 и 4 его магнитопровода устанавливаются поочередно на все соседние зубцы 5 магнитопровода статора или фазного ротора. При этом диагностируемая секция 6 обмотки статора всегда оказывается расположенной между этими зубцами. Следовательно, если обмотку 2 подключить к источнику переменного тока, то в этом случае через плоскость диагностируемой секции 6 будет проходить магнитный поток Φ .

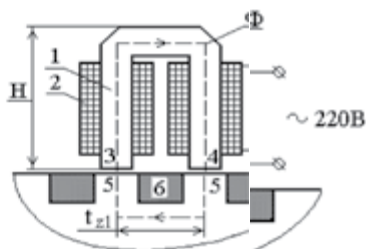


Рисунок 1 – Схематичное изображение конструкции электромагнитного индуктора

Исходя из этого становится ясно, что расстояние между ножками 3 и 4, а следовательно основные размеры магнитной цепи электромагнитного индуктора, в значительной мере определены величиной зубцового деления t_{z1} или t_{z2} статора или фазного ротора электрической машины [3, с. 78; 4; 5]. Таким образом, при конструировании электромагнитного индуктора

требуется знать диапазон изменения зубцового деления t_{z1} или t_{z2} статора или фазного ротора в зависимости от мощности P электрической машины и числа пар p полюсов. Так как типов и размеров электрических машин, находящихся в эксплуатации, достаточно много, то экспериментальное определение этих зависимостей весьма затруднительно. Значительно проще решить эту проблему расчетным путем.

Известно довольно много разнообразных методов расчета t_{z1} или t_{z2} [6, с. 135; 7; 8; 9; 10]. Если считать, что диапазон диагностируемых электрических машин с числом пар полюсов равным 2-12 ограничен мощностями 35-5000 кВт, то диапазон зубцовых делений, ограниченный минимальным и максимальным значениями t_{z1} следует определять следующим образом.

Первоначально по заданной мощности P и числу пар полюсов p этой электрической машины с помощью зависимостей $\tau = f(P)$ в виде $\tau = 0,07(P/p)^{0,3}$ взятой из [7] определяется расчетная величина ее полюсного деления τ_p . Для простоты определения величины полюсного деления эти зависимости можно представить в виде кривых линий 1-6 на рисунке 2, построенных для числа пар полюсов равных 1-6.

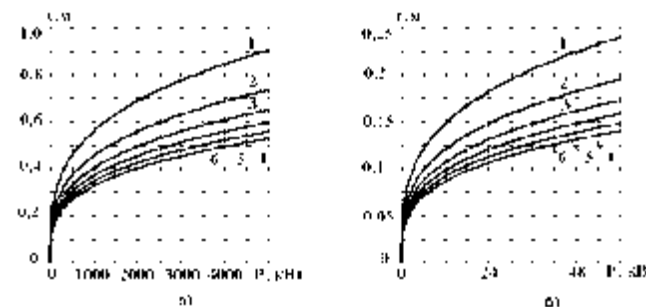


Рисунок 2 – Зависимости $\tau = f(P)$ для электрических машин

Затем по расчетной величине полюсного деления τ_p и числу пар полюсов p расчетная величина внутреннего диаметра статора определяется как

$$D_p = 2p\tau_p / \pi \quad (1)$$

Точное определение величины зубцового деления t_{z1} статора по расчетной величине внутреннего диаметра D_p , числу пар полюсов P и

расчетной величине полюсного τ_p деления не представляется возможным. Поэтому для его определения поступают следующим образом.

В электрических машинах со вспяной обмоткой статора величина зубцового деления определяется с помощью зависимости $t_{z1} = f(\tau)$ [6] приведенной на рисунке 3 и величины полюсного деления τ_p . В связи с возможностью размещения на полюсном делении τ разного рекомендуемого количества пазов по приведенной зависимости определяется минимальное $t_{z1,min}$ и максимальное $t_{z1,max}$ значения зубцового деления.

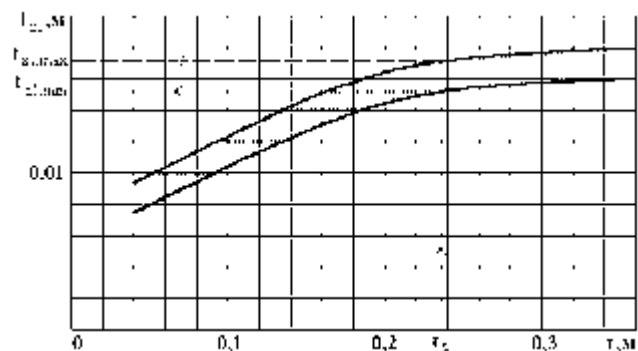


Рисунок 3 – Зависимость размеров зубцового деления от полюсного деления

Затем по полученным величинам $t_{z1,min}$ и $t_{z1,max}$ находится предварительная расчетная величина зубцового деления как

$$t_{z1,p} = \frac{t_{z1,max} + t_{z1,min}}{2} \quad (2)$$

Рекомендуемые числа пазов в сердечнике статора электрической машины при выполнении трехфазной обмотки с заданным числом пар полюсов приведены в таблице 1 [8;9]. При использовании этой таблицы рекомендуется выбирать ближайшее большее к расчетному значению числа пазов.

Расчетное число пазов статора при величине его внутреннего диаметра D_p [6] определяется с помощью выражения

$$Z_{1,p} = \pi D_p / t_{z1,p} \quad (3)$$

Таблица 1 – Рекомендуемое число пазов в сердечнике статора при заданном числе пар полюсов

Число пар полюсов $2p$	Число пазов статора
2	12, 18, 24, 30, 36, 42, 48
4	12, 18, 24, 36, 42, 48, 60, 72
6	36, 54, 72
8	48, 72, 84, 96
10	60, 90, 120
12	72, 90, 108, 144

Таким образом, в электрической машине с вспяной обмоткой и расчетной величиной внутреннего диаметра статора равного D_p величина зубцового деления определяется как.

$$t_{z1} = \pi D_p / Z_{1,p} \quad (4)$$

В электрических машинах с обмоткой статора выполняемой из прямоугольного провода укладываемой в прямоугольные пазы величина зубцового деления t_{z1} зависит от номинального напряжения и числа пар полюсов. Его предварительное значение можно взять из таблицы 2 [6].

Тогда возможные числа пазов статора электрической машины с номинальным напряжением, например, U_n и полюсным делением τ_p в соответствии с выбранным интервалом зубцовых делений

$$Z_{1,pmin} = \pi D_p / t_{z1,pmin} \text{ и } Z_{1,pmax} = \pi D_p / t_{z1,pmax} \quad (5)$$

Таблица 2 – Предварительные значения величины зубцового деления статора при прямоугольных пазах

Полюсное деление $\tau, \text{ м}$	Зубцовое деление статора, м					
	При U_n до 660В		При $U_n = 3000\text{В}$		При $U_n = 6000\text{В}$	
	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$
<0,15	0,016	0,020	0,022	0,025	0,024	0,30
0,15-0,4	0,017	0,022	0,024	0,027	0,026	0,034
>0,4	0,020	0,028	0,026	0,032	0,028	0,038

При этом среднее число пазов

$$Z_{1,p} = (Z_{1,pmin} + Z_{1,pmax}) / 2 \quad (6)$$

Расчетное число пазов $Z_{1,p}$ определяется с учетом данных приведенных в таблице 2. При этом величина зубцового деления статора и число пазов на его полюс и фазу

$$t_{z1} = \pi D_p / Z_{1,p} \text{ и } q1 = Z_{1,p} / 2p \quad (7)$$

а число пазов на его полюс и фазу

$$q1 = Z_{1,p} / 2p \quad (8)$$

Диапазон зубцовых делений, электрических машин на которых возможно проведение поиска секции со «скрытым» повреждением зависит от таких взаимосвязанных факторов как их внутренний диаметр статора D_p , мощность P и число пар полюсов p .

Внутренний диаметр статора D_p должен быть в два ÷ три раза больше чем высота H электромагнитного индуктора. Это условие необходимо для обеспечения комфортного осуществления диагностики его обмотки. Исходя из реально возможных размеров электромагнитного индуктора, минимальная величина внутреннего диаметра статора D_p должна быть не менее $0,3 \div 0,35$ метра.

В соответствии с уравнением (1) величина полюсного деления статора τ при известной величине D_p зависит от числа пар полюсов. Поэтому для числа пар полюсов равных единице и шести величина полюсного деления

$$\tau_{p,1} = \pi D_p / 2p = 3,14 \cdot 0,35 / 2 \cdot 1 \approx 0,55 \text{ м и}$$

$$\tau_{p,6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 2 \cdot 6 \approx 0,0915 \text{ м.}$$

При такой величине полюсных делений мощность электрической машины с $p=1$ и $p=6$ определяемая по зависимостям $\tau = f(P)$ приведенным на рисунке 2 будет равна 1000кВт и 20кВт соответственно. Число пазов статора электрической машины с различным числом пар полюсов определяется по таблице 1 с учетом рекомендаций приведенных в [6;7;8;9;10]. Поэтому для этих электрических машин с вьспной обмоткой число пазов статора принимается равным 48 и 72. При этом величина их зубцового деления

$$t_{z1,min,1} = \pi D_p / Z_{1,1} = 3,14 \cdot 0,35 / 48 \approx 0,023 \text{ м и}$$

$$t_{z1,min,6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 72 \approx 0,0153 \text{ м.}$$

В электрических машинах с обмоткой статора выполняемой из прямоугольного провода укладываемой в прямоугольные пазы величину

зубцового деления t_{z1} для этих электрических машин можно взять из таблицы 2 [6]. В результате в электрических машинах с номинальным напряжением $U_n = 6000 \text{ В}$ и $U_n = 660 \text{ В}$ величина зубцового деления $t_{z1,min,1} = 0,026 \text{ м}$, $t_{z1,min,6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 72 \approx 0,017 \text{ м}$. Максимальная величина зубцового деления статора определяется только для электрической машине мощностью 5000кВт при числе пар ее полюсов $P=1$. У такой электрической машины внутренний диаметр статора D_p может превышать величину 0,6 метра. При этом величина полюсного деления ее статора

$$\tau_{p,1} = \pi D_p / 2p = 3,14 \cdot 0,6 / 2 \cdot 1 \approx 0,942 \text{ м} \quad (9)$$

С учетом с учетом рекомендаций приведенных в [6;7;8;9;10] и таблицы 1 для такой электрической машины число пазов Z_1 следует принимать равным 48. В результате величина ее зубцового деления

$$t_{z1,max} = \pi D_p / Z_1 = 3,14 \cdot 0,6 / 48 \approx 0,039 \text{ м}$$

Что вполне сопоставимо с данными, приведенными в таблице 2, где максимальная величина зубцового деления при $\tau > 0,4$ достигает 0,038 метра.

Определение зубцового деления фазного ротора асинхронного двигателя с учетом [6;10] осуществляется следующим образом. Для нормальной работы асинхронного двигателя необходимо, чтобы обмотка фазного ротора имела столько же фаз и полюсов, сколько их имеет обмотка статора.

Если считать, что выбранное значение внутреннего диаметра сердечника статора равно D_p , то в этом случае внешний диаметр фазного ротора определяется как

$$D_2 = D_p - 2\delta, \quad (10)$$

где δ – величина воздушного зазора.

С учетом того, что при реально возможных размерах электромагнитного индуктора минимальная величина внутреннего диаметра статора D_p при $P=6$ должна равняться 0,35 метра величина воздушного зазора

$$\delta = \frac{D_p}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \cdot 10^{-3} = \frac{0,35}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2 \cdot 6} \right) \cdot 10^{-3} \approx 0,00051 \text{ м.}$$

При этом величина внешнего диаметра фазного ротора

$$D_2 = D_p - 2\delta = 0,35 - 2 \cdot 0,00051 \approx 0,349 \text{ м.}$$

В соответствии с (8) число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_1 = Z_1 / 2pm = 72 / 2 \cdot 6 \cdot 3 = 2,$$

а число пазов на полюс и фазу обмотки ротора

$$q_2 = q_1 \pm K, \quad (11)$$

где K – коэффициент. В расчетах числа пазов на полюс и фазу для фазной обмотки ротора в соответствии с [6] рекомендуется принимать $K=0,5$ или $K=1,0$. Если принять $K=1,0$, то в этом случае

$$q_2 = q_1 + K = 2 + 1 = 3.$$

Число пазов ротора Z_2 должно отличаться от числа пазов статора. В расчетах, например в [6], принято считать, что число пазов для фазной обмотки ротора

$$Z_2 = Z_1 q_2 / q_1 = 72 \cdot 3 / 2 = 108. \quad (12)$$

При этом минимальная величина зубцового деления фазного ротора

$$t_{z2,min} = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 \cdot 0,349 / 108 \approx 0,01 \text{ м.}$$

Максимальная величина зубцового деления фазного ротора определяется для электрической машины мощностью 5000кВт при числе пар ее полюсов $P=1$. У такой электрической машины:

- внутренний диаметр статора $D_p=0,6$ метра;
- величина воздушного зазора

$$\delta = \frac{D_p}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \cdot 10^{-3} = \frac{0,6}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2 \cdot 1} \right) \cdot 10^{-3} \approx 0,00275 \text{ м;}$$

- число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_1 = Z_1 / 2pm = 48 / 2 \cdot 1 \cdot 3 = 8;$$

- число пазов на полюс и фазу обмотки ротора

$$q_2 = q_1 + 1 = 8 + 1 = 9;$$

– число пазов ротора Z_2

$$Z_2 = Z_1 q_2 / q_1 = 48 \cdot 9 / 8 = 54;$$

- максимальная величина зубцового деления фазного ротора

$$t_{z2,max} = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 \cdot 0,6 / 54 \approx 0,0349 \text{ м.}$$

Результаты и обсуждение

Как видно из приведенных расчетов минимальная величина зубцового деления статора и фазного ротора следует принимать равными 0,0153 и 0.01 метра. При этом их максимальные величины составляет 0,038 и 0,0349 метра. Таким образом, для диагностики электрических машин мощностью 20-5000кВт минимальное и максимальное расстояния между ножек электромагнитного индуктора должны равняться 0,01 и 0,038 метра.

Выводы

1 Основными параметрами, определяющими возможность использования электромагнитного индуктора для диагностики электрической машины является зубцовое деление ее магнитопровода, расстояние между его ножками и площадь соприкосновения этих ножек с магнитопроводом статора или ротора.

2 Анализ результатов расчета величин зубцовых делений магнитопроводов статора и фазного ротора показывает, что в интервалах мощностей 20-5000кВт вне зависимости от числа пар полюсов его величина может принимать значения равные 0,01-0,038 метра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Пат. RU № 2 808798 С1, МПК H02H 3/08; H02K 11/27. Способ диагностики состояния обмотки статора электрической машины [Текст]/ Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Имангазина Д. К., Исенов Ж. С. – Заявка №2023104406, заявл. 28.02.2023; опубл. 05.12.2023, Бюл. № 34.

2 Новожилов А.Н., Имангазина Д.К., Методы поиска поврежденной секции в трёхфазных обмотках [Текст].// Вестник Торайгыров университета. – 2024. – № 2. – С. 271–285.

3 Петров Г. Н. Электрические машины. Ч.2. Асинхронные и синхронные машины [Текст]. – М. – Л. : Энергия, 1968. – 224 с.

4 Вольдек А. И. Электрические машины [Текст]. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

5 Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 909 с.

6 **Копылов И. П., Горяинов, Ф. А., Клоков Б. К., и др.;** Под ред. И.П.Копылова Проектирование электрических машин [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 496 с., ил.

7 **Домбровский В. В., Хуторецкий Г. М.** Основы проектирования электрических машин переменного тока [Текст]. – Л.: Энергия, 1974. – 504 с., ил.

8 **Гольдберг О. Д., Свириденко И.С.,** Проектирование электрических машин [Текст]. – М.: Высшая школа, 2006. – 430 с., ил.

9 **Копылов И. П., Клоков Б. К., Морозкин В. П., и др.;** Под ред. И.П.Копылова Проектирование электрических машин [Текст]. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с., ил.

10 **A. Ivanov-Smolensky.** Electrical machines voi 1. [Текст]. – М.: Energia, 1982. – 403 с.

REFERENCES

1 Pat. RU № 2 808798 S1, МПК N02N 3/08; N02K 11/27. Sposob diagnostiki sostoyaniya obmotki statora elektricheskoy mashiny [A method for diagnosing the state of the stator winding of an electric machine] [Text]. / Novozhilov A.N, Novozhilov T.A., Imangazinova D. K., Isenov Zh.S. – Zayavka №2023104406, zayavl. 28.02.2023 ; opubl. 05.12.2023, Byul. № 34

2 **Novozhilov A. N., Imangazinova D. K.,** Metody poiska povrezhdennoj sekcii v tryohfaznykh obmotkakh [Methods of searching for a damaged section in three-phase windings] [Text]. // Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2024. – № 2. – P. 271–285.

3 **Petrov, G. N.** Elektricheskie mashiny. CH.2. Asinhronnye i sinhronnye mashiny [Electric machines. Part 2. Asynchronous and synchronous machines] [Text]. – Moscow – L.: Energiya, 1968. – 224 p.

4 **Vol'dek, A. I.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] – [Text]. – Leningrad.: Energiya, 1978. – 832 p.

5 **Ivanov-Smolenskij, A. V.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Moscow: Energiya, 1980. – 909 p.

6 **Kopylov I. P., Goryainov F. A., Klokov B. K., i dr.; Pod red. I. P.Kopylova** Proektirovanie elektricheskikh mashin [Edited by I.P.Kopylov Design of electric machines] [Text]. – М.: Energiya, 1980. – 496 p.

7 **Dombrovskij V. V., Hutoreckij G. M.** Osnovy proektirovaniya elektricheskikh mashin peremennogo toka. mashin [Fundamentals of the design of alternating current electric machines] [Text]. – L.: Energiya, 1974. – 504 p.

8 **Gol'dberg O. D., Sviridenko I. S.,** Proektirovanie elektricheskikh mashin. [Design of electric machines] [Text]. – М.: Vysshaya shkola, 2006. – 430 p.

9 **Kopylov I. P., Klokov B. K., Morozkin V. P., i dr.; Pod red. I. P.Kopylova** Proektirovanie elektricheskikh mashin.[Edited by I.P.Kopylov, Design of electric machines] [Text]. – М.: Izdatel'stvo YUrajt, 2011. – 767 s., il.

10 **A. Ivanov-Smolensky.** Electrical machines voi 1. [Text]. – М.: Energia, 1982. – 403

Поступило в редакцию 01.11.24

Поступило с исправлениями 07.11.24

Принято в печать 04.12.24

**A. N. Novozhilov¹, D. K. Imangazinova², T. A. Novozhilov³,*

V. N. Goryunov⁴

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{3,4}Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

01.11.24 ж. баспаға түсті.

07.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

СТАТОР МЕН ЭЛЕКТР МАШИНАСЫНЫҢ ФАЗАЛЫҚ РОТОРЫНЫҢ ТІСТІ БӨЛІНУ ШАМАСЫН АНЫҚТАУ

Сақиналы өлшеу түрлендіргішімен жабдықталған электр машинасының статорының немесе фазалық роторының үш фазалы орамасында «жасырын» зақымдануы бар секцияның орналасқан жерін анықтау жүзеге асырылатын кешеннің негізгі элементтерінің бірі электромагниттік индуктор болып табылады. Орамаларды диагностикалау кезінде электромагниттік индуктордың магниттік өткізгіші статор немесе фазалық ротордың барлық іргелес магниттік өткізгіш тістеріне кезектесіп орнатылады және диагноз қойылған бөлімді кесіп өтетін магнит ағынын жасайды. Бұл жағдайда диагноз қойылған бөлімде жабық бұрылыстардың болуы сақиналы өлшеу түрлендіргішінде ЭҚК пайда болуымен анықталады.

Электромагниттік индукторды пайдалану мүмкіндігін анықтайтын негізгі параметр оның аяқтары арасындағы қашықтық және осы аяқтардың диагностикаланатын электр машинасының статор немесе ротор магниттік өткізгішімен жанасу аймағы болып табылады. Бұл параметрлер осы магниттік желілердің тісті бөліну мөлшерімен тікелей байланысты. Бұл жағдайда тісті бөліудің мәні электр машинасының қуатына және оның полюстерінің

жұптарының санына байланысты. Сондықтан ол өте кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Тісті бөлудің эксперименттік анықтамасы айтарлықтай қиындықтарды қамтиды. Осыған байланысты тісті бөлудің шамасын есептеу арқылы анықтауға мүмкіндік беретін қарапайым әдіс жасалды.

Кілтті сөздер. Электр машинасы, сақиналы өлшеу түрлендіргіші, үш фазалы орам, тісті бөлу, «жасырын» зақымдануы, электромагниттік индуктор.

*A. N. Novozhilov¹, D. K. Imangazanova², T. A. Novozhilov³,

V. N. Goryunov⁴

^{1,2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Received 01.11.24

Received in revised form 07.11.24

Accepted for publication 04.12.24

DETERMINATION OF THE MAGNITUDE OF THE TOOTH DIVISION OF THE STATOR AND THE PHASE ROTOR OF AN ELECTRIC MACHINE

One of the main elements of the complex, which is used to determine the location of the section with a “hidden” damage in the three-phase winding of the stator or phase rotor of an electric machine equipped with an annular measuring transducer, is an electromagnetic inductor. When diagnosing windings, the magnetic circuit of the electromagnetic inductor is installed alternately on all adjacent teeth of the magnetic circuit of the stator or phase rotor and creates a magnetic flux crossing the diagnosed section. In this case, the presence of closed turns in the diagnosed section is determined by the appearance of an EMF in the annular measuring transducer.

The main parameter determining the possibility of using an electromagnetic inductor is the distance between its legs and the area of contact of these legs with the magnetic circuit of the stator or rotor of the electric machine being diagnosed. These parameters are directly related to the magnitude of the tooth division of these magnetic conductors. In this case, the magnitude of the tooth division depends on the power of the electric machine and the number of pairs of its poles. Therefore, it can fluctuate quite widely. The experimental determination of the tooth division is associated with significant difficulties. In this regard, a simple method

has been developed to determine the magnitude of the tooth division by calculation.

Key words: An electric machine, an annular measuring converter, a three-phase winding, a tooth division, hidden damage, an electromagnetic inductor.

<https://doi.org/10.48081/MVC13135>

***Г. С. Нұрмағанбетова¹, В. В. Каверин², С. С. Исеноев³,
У. К. Искаков⁴, Э. К. Сарсембиева⁵**

^{1,3,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.,

⁴ЖШС «KAZ MINERALS» Ақтоғай., Қазақстан Республикасы, Ақтоғай қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

³ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6395-6067>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7078-4236>

*e-mail: g_sahitovna@mail.ru

ҚЫСҚА ТҰЙЫҚТАЛҒАН РОТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ГЕНЕРАТОРДЫҢ ТЕМПЕРАТУРАНЫ БАҚЫЛАУШЫНЫҢ ИМИТАЦИОНДЫ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішті температураның жоғарылауынан жанама қорғау жүйесі қарастырылған. Статор орамаларының қызып кетуінен қорғаудың жанама жүйесін құру үшін температураны бақылаушы жасалды және оның жұмыс алгоритмі әзірленді. Температураны бақылаушының алгоритмін зерттеу үшін қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің имитационды моделі құрылды. Имитационды зерттеулер MATLAB/SIMULINK және SimPowerSystems қолданбалы бағдарламалар пакеттерінде орындалды. Нәтижесінде қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргіші үшін статор орамасының кедергісін бақылаушы моделінің қателігінің $3 \text{ кВт} \div 200 \text{ кВт}$ қуат диапазонындағы температурадан асып кетуіне тәуелділігі талданды. Бақылаушының температурасын есептеу дәлдігін арттыру мақсатында түзету коэффициенті

енгізіліп, оның асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің қуат функциясына тәуелділігі анықталды. Түзету коэффициентін ескере отырып, асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің температурасын жанама есептеу қателігі 1% - дан аспайды. Ұсынылған температура бақылаушы қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргіштің қорғанысын құру үшін қолданылады. Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішті қызып кетуден қорғау үшін температура бақылаушысын құру принципі ұсынылды.

Кілтті сөздер: электромеханикалық түрлендіргіш, имитационды модель, жылу қорғанысы, генератор, статор, температура.

Кіріспе

Кез-келген технологиялық жабдықты пайдаланудың ең жақсы режимі номиналды паспорттық режим болып табылады, ал іс жүзінде технологиялық процестердің ерекшеліктеріне байланысты номиналды паспорт режимінде жұмыс өте сирек кездеседі. Бұл фактор ауыр жұмыс жағдайларымен сипатталатын көптеген өнеркәсіп салаларда ерекше маңызға ие, олар жиі іске қосылатын, жүктемелердің кең ауқымында өзгеретін және тұрақты шамадан тыс жүктемелермен стационарлық емес жұмыс режимдерімен бірге жүреді. Мұндай технологиялық қондырғылардың басым көпшілігінде қозғалыстың негізгі көзі ретінде қысқа тұйықталған роторы (ҚТР) бар асинхронды генератордың (АГ) электромеханикалық түрлендіргіші (ЭТ) қолданылады, ал ең маңыздысы – ЭТ-нің шамадан тыс жүктеме бөлгіштерімен жұмысы, бұл генератордың қызып кетуіне әкеледі және оның апаттық істен шығу ықтималдығын едәуір арттырады.

Асинхронды генератордың ЭТ жылу режимін диагностикалауға бағытталған қолданыстағы техникалық шешімдер іс-әрекет принципі, физикалық іске асырылуы, жылдамдығы және селективтілігі бойынша ерекшеленеді. Бұл ретте ҚТР бар АГ ЭТ құрылымына арнайы сезбектерді орнатуды талап етпейтін, бірақ температурадан асып кетудің жанама белгілерін емес, ҚТР бар АГ ЭТ жылу режимін тікелей айқындайтын жанама әдістер перспективалы болып табылады.

Демек, статор кедергісін сәйкестендіру әдістерімен анықтауға негізделген жылу шығаруды және жылу бөлуді ескеретін ҚТР бар АГ ЭТ жанама жылу қорғауға арналған зерттеулер ғылыми жаңалыққа ие.

Соңғы жылдары Қазақстанда зияткерлік сезбектер дамуда [1]. Сымсыз сезбектердің келешегі бары сөзсіз. Кеңістікте бөлінген қозғалмалы нысандар олардың контроллерлерімен, автоматика құралдарымен сымсыз байланысты

кажет етеді [2]. Бірақ олардың кемшілігі оларды кейбір өндірістер мен өнеркәсіптер жағдайында орнатуға және пайдалануға жол бермеу болып табылады.

Мақала авторлары [3] берілген шектерде температураның табылуын бақылауды жүзеге асыратын индуктивті өлшеу түрлендіргішін ұсынады. Алайда бұл тәсіл әдетте іске қосу қашықтығының пайыздық мөлшеріне әкеледі және оның шамамен 10 % жетеді.

Шамадан тыс жүктеме режимін анықтау және жою үшін, сондай-ақ ҚТР бар АГ ЭТ қызып кетуінен статор тогының уақытқа интегралды тәуелділігі функциясындағы қорғаныс қолданылады [4–7]. Бұл әдіс статор орамаларының қызу температурасын бақылауға, сондай-ақ қатарынан бірнеше рет іске қосудан туындаған орамалар қызып кеткен жағдайда генераторды өшіруге мүмкіндік бермейді.

Мақалада [8] авторлар температураның өзгеруіне байланысты орам импедансының белсенді және/немесе реактивті компоненттерінің өзгеруіне негізделген термиялық қорғаныс әдісін ұсынады, бұл фазалық кернеулер мен токтардың векторлары арасындағы бұрыштың сәйкес өзгеруіне әкеледі. Әдістің кемшілігі мынада: қоршаған ортаның температурасын қоса алғанда, пайдалану жағдайларына байланысты ҚТР бар АГ ЭТ жылу таратудың әртүрлі нұсқалары ескерілмейді.

Осылайша, қазіргі уақытта қысқа тұйықталған (КЗР) АГ-ды қызып кетуден қорғаудың қолданыстағы әдістері көптеген жағдайларда бірқатар кемшіліктерге ие, өйткені олар пайдалану жағдайларына байланысты ҚТР бар АГ ЭТ жылу таратудың әртүрлі нұсқаларын ескермейді немесе температураны бақылаудың қажетті дәлдігін қамтамасыз етпейді.

Мұның бәрі асинхронды генераторларға арналған жанама әдістерге негізделген қорғаныс жүйелерін әзірлеу бойынша зерттеу жүргізу орынды деп айтуға мүмкіндік береді.

Материалдар және әдістері

Теориялық зерттеулердің мақсаты – жылу шығару және жылу бөлу процестерін ескеретін қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің жанама жылу қорғанысының имитациялық моделін жасау.

Қойылған мақсаттарға жету үшін генератор режиміндегі қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің векторлық математикалық моделі негізінде температураны бақылаушының имитациялық моделін әзірлеу ұсынылады [9,10].

Жел генератор қондырғысының асинхронды генераторының жанама температуралық қорғанысын құру үшін ($\omega k=0, \alpha k=0$) қозғалмайтын координаталар жүйесінде ҚТР АГ математикалық моделі негіз ретінде

алынды. Онда нақты ось α , ал жорамал β арқылы белгіленеді. Бұл жағдайда кеңістік векторлар $\underline{u}_s = u_{s\alpha} + j u_{s\beta}$, $\underline{i}_s = i_{s\alpha} + j i_{s\beta}$, $\underline{\psi}_s = \psi_{s\alpha} + j \psi_{s\beta}$ осьтер бойымен орналасады және теориялық ережелер негізінде құрылған сызықтық емес дифференциалдық теңдеулер жүйесі төменде көрсетілген (1) теңдеулер жүйесімен сипатталады:

$$\left. \begin{aligned} u_{s\alpha} &= R_s(1 + \overline{\tau}'_s s) i_{s\alpha} - \frac{k_R}{\tau_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \omega \psi_{R\beta}, \\ u_{s\beta} &= R_s(1 + \overline{\tau}'_s s) i_{s\beta} - \frac{k_R}{\tau_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega \psi_{R\alpha}, \\ 0 &= -k_R R_r i_{s\alpha} + \frac{1}{\tau_R} (1 + \overline{\tau}_R s) \psi_{R\alpha} + p \omega \psi_{R\beta}, \\ 0 &= -k_R R_r i_{s\beta} + \frac{1}{\tau_R} (1 + \overline{\tau}_R s) \psi_{R\beta} - p \omega \psi_{R\alpha}, \\ M &= k_R (\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}), \\ \overline{T}_m s \omega &= M - M_L. \end{aligned} \right\} (1)$$

мұнда $u_{s\alpha}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі α нақты осьіне статор кернеуінің кеңістіктік векторының проекциясы; $u_{s\beta}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі β жорамал осьіне статор кернеуінің кеңістіктік векторының проекциясы; $i_{s\alpha}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі α нақты осьіне статор тогының кеңістіктік векторының проекциясы; $i_{s\beta}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі β жорамал осьіне статор тогының кеңістіктік векторының проекциясы; $\psi_{s\alpha}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі α нақты осьіне ротор ағынының кеңістіктік векторының проекциясы; $\psi_{s\beta}$ – (α, β) қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі β жорамал осьіне ротор ағынының кеңістіктік векторының проекциясы; R_s – статор орамасының кедергісі, Ом; R_r – ротор орамасының кедергісі, Ом; s – Лаплас операторы; M – ЭТ электр магниттік моменті, Н•м; M_L – ҚТР бар АГ ЭТ білігінің жүктеме моменті, Н•м; ω – бұрыштық жылдамдық, рад/с; p – полюс жұптарының саны; $\overline{\tau}'_s = \frac{x'_s}{R_s}$, $\overline{\tau}_R = \frac{x_R}{R_r}$, $k_R = \frac{x_m}{\tau_R}$ өлшемсіз коэффициенттер; $\overline{T}_m = \frac{J \omega_b^2}{M_b}$, $x'_s = \frac{\omega_b L_s}{R_s}$, $x_R = \frac{\omega_b L_R}{R_r}$, $x_m = \frac{\omega_b L_m}{R_s}$, – салыстырмалы параметрлер; L_s – статор орамасының индуктивтілігі, Гн; L_r – ротор орамасының индуктивтілігі, Гн; L_m – статор мен ротор орамаларының өзара индуктивтілігі, Гн; J – ЭТ механикалық бөлігінің инерция моменті, кг•м²; ω_b – ЭТ білігіндегі моменттің базалық мәні, Н•м; ω_b – бұрыштық жылдамдықтың номиналды мәні, рад/с.

Имитациялық зерттеулер 4А сериялы генераторлық жұмыс режиміндегі қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың ЭТ үшін орындалды. Зерттеулер айналу жиілігі 750 айн/мин және қуаты 3 кВт-тан 200 кВт-қа дейінгі температуралар диапазонында $20\text{ }^{\circ}\text{C} \div 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ жүргізілді.

Температураны бақылаушының имитациялық моделі (1 сурет) жеке блок түрінде (Статор ораманың температурасын есептеу блогы) көрсетілген.



Сурет – 1 Температураны бақылаушының имитациялық моделі

Пайдаланудың техникалық шарттары бойынша АГ ЭТ-дағы жүктеменің жұмыс диапазоны статор орамаларының рұқсат етілген ең жоғары температурасының шамасымен шектелген. Қызып кетуден қорғау құрылғыларын құру үшін $100\text{ }^{\circ}\text{C} \div 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ диапазонындағы ең төменгі рұқсат етілген температурамен шектелуге болады. Температураның максималды мәні қысқа тұйықталған роторы бар АГ ЭТ орамаларының оқшаулау класымен анықталады (4А сериясы үшін $250\text{ }^{\circ}\text{C}$). Статор орамасының белсенді кедергісі оның температурасына пропорционалды түрде өзгереді.

Температураны бақылаушы ҚТР бар АГ ЭТ электр бөлігінің моделінен және ЭТ статор ораманың температурасын есептеу блогынан тұрады.

Генератор режиміндегі ҚТР бар АГ ЭТ жұмысы келесілермен байланысты:

- ЭТ ішіндегі жүктеме параметрлерімен және электромагниттік процестермен;

- статор және ротор орамаларының электромагниттік өзара әрекеттесуімен;

- ҚТР бар АГ ЭТ сырғанау шамасымен.

«АГ ЭТ электрлік бөлігінің моделі» блогымен сызықтық емес дифференциалдық теңдеулерді (1) қолдана отырып, ЭТ кернеуі мен тогының ағымдағы салыстырмалы координаталары есептелінеді.

«Статор орамдарының температурасын есептеу» блогында қуаттың жылу балансының (2) теңдеуімен генератордың статор орамаларының температурасының ағымдағы мәнін есептеу жүзеге асырылады:

$$\begin{aligned} |U| &= \tau_1 \frac{dU_1}{dt} + U_1 + K_1 \\ |i| &= \tau_2 \frac{di_1}{dt} + i_1 + K_2 \\ T &= K_3 U i + K_4 \\ T_1 &= \tau_3 \frac{dT}{dt} + T \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы: U_i – айнамалы кернеу; U_1, i_1 – функция модулімен модельденген және одан кейін тұрақты компонентті бөле отырып екі жартылай периодты түзетуден кейінгі кернеу мен ток; τ_1 және τ_2 – статор орамаларының кернеуі мен тогының тұрақты компонентін бөлу сүзгісінің уақыт тұрақтылары; τ_3 – генератордың жылу инерциясының уақыт тұрақтысы; T және T_1 – генератордың жылу инерциясының статор орамаларының температурасы; K_3 – генератордың қоршаған ортамен жылу алмасуын ескеретін коэффициент.

Статор орамаларының электр магниттік процестерінің моделі белсенді және реактивті компоненттері бар теңдеулерден тұрады. Статор орамаларының температурасын есептеу үшін кернеуге қатысты токтың белсенді компонентінің параметрлері қолданылады.

Сырғанау мәнінің өзгеруі нәтижесінде статор тогының белсенді компоненті өзгереді, ол ЭТ статор ораманың қызуын анықтайды.

Статордың белсенді кедергісінің шамасы статор температурасының параметрін есептеу үшін негіз болып табылатын аperiodтық буында (№2 және 15 блоктар) ескеріледі.

Температура бақылаушының кіріс координатасы болып тиісті параметрлердің датчиктерінен алынатын статор кернеуі және бұрыштық жылдамдық табылады. Статор орамалар тогының белсенді құрамдас бөлігінің координаталары және қоректену кернеуі ҚТР АГ ЭТ электр бөлігінің моделінде есептеледі.

Сумматор блогының (№14 блок) және аperiodтық буынның (№2 блок) шығысындағы сигналдар өнеркәсіптік жиіліктің синусоидалы формасына

ие. Статор температурасын анықтау үшін модульдердің мәндері №20 және №22 блоктармен есептеледі. Тұрақты құрамдас бөлікті бөлу №21 және №23 блоктармен бірінші ретті апериодты буынмен жүзеге асырылады. Генераторды іске қосу кезінде нөлге бөлуді есептеу қатесін болдырмау үшін №26 және №24 блоктармен орын ауыстыру енгізіледі. ЭТ статор орамаларының қыздыру температурасына пропорционалды сигнал №29 блок салыстыру элементінің №31 блогының кірісіне түседі, мұнда ол статор орамаларының максималды рұқсат етілген температурасымен (№30 блок) салыстырылады. Шекті элементтің (№32 блок) шығуында температураны қыздырудың рұқсат етілген ең жоғары шамасына жеткенде жүктемені ҚТР бар АГ ЭТ ажырату сигналы қалыптастырылады.

1 және 2 кестелерде 30 кВт және 75 кВт қуаттар үшін 20 °С-ден 250 °С-ге дейінгі температура функциясындағы статор кедергісінің тәуелділігі келтірілген.

Кесте 1 – 30 кВт қуат үшін температура функциясындағы статор кедергісінің тәуелділігі

4А сериялы ҚТР бар АГ ЭТ, W=30 кВт, η=750 айн./мин					
T, °C	20	125	170	200	250
R_s	0,2654	0,3767	0,4251	0,4567	0,5101
R(t)	0,2764	0,3834	0,4292	0,4598	0,5108
R_k	0,2672	0,3792	0,4279	0,4598	0,5135

Кесте 3 – 75 кВт қуат үшін температура функциясындағы статор кедергісінің тәуелділігі

4А сериялы ҚТР бар АГ ЭТ, W=75 кВт, η=750 айн./мин					
T, °C	20	125	170	200	250
R_s	0,1018	0,1275	0,140	0,1480	0,1620
R(t)	0,0809	0,1122	0,1256	0,1345	0,1495
R_k	0,0925	0,1159	0,1273	0,1345	0,1473

мұнда R_s – статор кедергісінің шынайы мәні, Ом;

$R_{(t)}$ – бакылаушының көмегімен статор кедергісінің есептелген мәні, Ом;

R_k – түзету коэффициентін ескере отырып, статор кедергісі.

$R_{(t)}$ бакылаушысының көмегімен статор кедергісінің мәнін есептеу үшін 30 кВт және 75 кВт қуаттар үшін 3 – 4 кестелерде келтірілген есептік мәліметтер қолданылады.

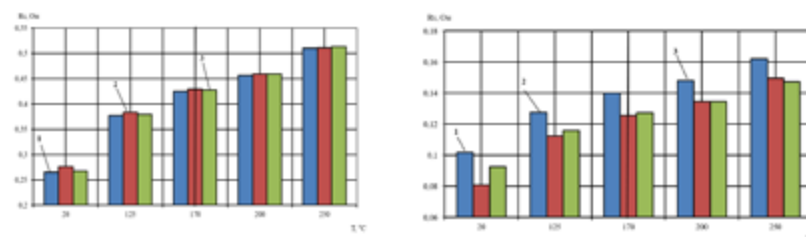
Кесте 3 – Қуаты 30 кВт болатын ҚТР бар АГ статорының кедергісін есептеуге арналған есептік мәліметтер

W=30 кВт, η=750 айн./мин							
R(20)	α	x_m	x_R	R_R , Ом	R_s , Ом	T, °C	R(t), Ом
0,254	0,004	2,2709	2,3089	0,0013	0,2751	20	0,2764
0,254	0,004	2,2709	2,3089	0,0013	0,3820	125	0,3834
0,254	0,004	2,2709	2,3089	0,0013	0,4279	170	0,4292
0,254	0,004	2,2709	2,3089	0,0013	0,4585	200	0,4598
0,254	0,004	2,2709	2,3089	0,0013	0,5094	250	0,5108

Кесте 4 – Қуаты 75 кВт болатын ҚТР бар АГ статорының кедергісін есептеуге арналған есептік мәліметтер

W=75 кВт, η=750 айн./мин							
R(20)	α	x_m	x_R	R_R , Ом	R_s , Ом	T, °C	R(t), Ом
0,074569	0,004	2,27386	2,309219	0,00038	0,08053452	20	0,0809
0,074569	0,004	2,27386	2,309219	0,00038	0,1118535	125	0,1122
0,074569	0,004	2,27386	2,309219	0,00038	0,12527592	170	0,1256
0,074569	0,004	2,27386	2,309219	0,00038	0,1342242	200	0,1345
0,074569	0,004	2,27386	2,309219	0,00038	0,149138	250	0,1495

Эксперименттердің нәтижелері бойынша статор кедергісінің ҚТР бар АГ ЭТ әртүрлі қуаттары үшін температураға тәуелділігі анықталды. 2 суретте температура функциясындағы статор кедергісінің өзгеру тәуелділіктері көрсетілген: тәуелділік 1 – ҚТР бар АГ ЭТ әрбір қуаты үшін анықтамалық деректерден алынған статор кедергісінің шынайы мәндері, тәуелділік 2 – бакылаушының көмегімен статор кедергісінің есептелген мәндері.

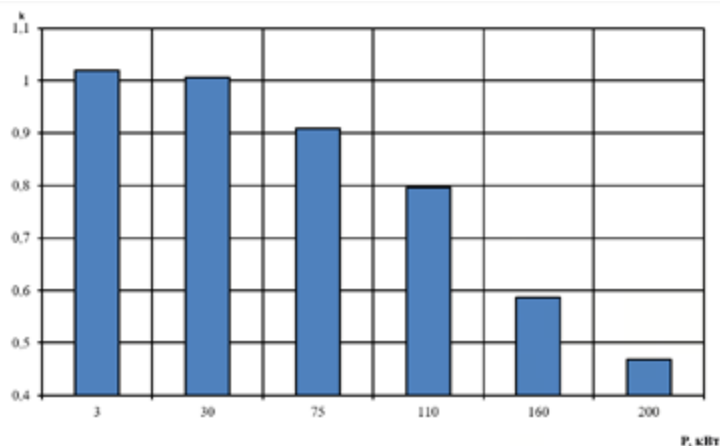


Қуаты 30 кВт

Қуаты 75 кВт

Сурет 1 – Имитациялық эксперименттердің нәтижелері

Мыс кедергісінің өзгеруінің температуралық коэффициентін біле отырып, статор мен температураның кедергісі есептеледі. Түзету коэффициентін ескере отырып алынған үшінші тәуелділік, оның тиісті генератор типі үшін сандық мәні 3-суретте көрсетілген тәуелділіктен таңдалады.



Сурет 3 – Түзету коэффициентінің қуатқа тәуелділігі

Алынған нәтижелерден көріп отырғанымыздай, статор орамасының кедергісінің шынайы мәні мен есептелген мән арасында қате бар. Бұл температураны бақылаушының қателігінен туындайды. Бақылаушының қателіктерін түзету үшін түзету коэффициенті енгізілді.

5 кестеде ҚТР бар АГ ЭТ әртүрлі қуаттылықтары үшін 250 °С температурасы кезіндегі түзету коэффициентінің есептеулері келтірілген.

Кесте 5 – Әр түрлі қуаттар үшін түзету коэффициентін есептеу

T, °C	W, кВт	Rs, Ом	R(t), Ом	k
200	3	7,8744	8,0326	1,0200
	30	0,4567	0,4598	1,0067
	75	0,148	0,1345	0,9087
	110	0,1385	0,1102	0,7956
	160	0,0995	0,0584	0,5869
	200	0,0911	0,0426	0,4676

5 кестеге сәйкес қуат функциясындағы түзету коэффициентінің графигі келтірілген (3 сурет).

Алынған графиктен қуаттың жоғарылауымен қатенің мөлшері азаяды деген қорытынды шығады.

Нәтижелер және талқылау

Осылайша, қуат функциясындағы ҚТР бар АГ ЭТ жылу балансын ескеретін температураны бақылаушының имитациялық моделі жасалды (1 сурет). Имитациялық эксперименттер процесінде температураны жанама әдіспен есептеу дәлдігін арттыратын түзету коэффициентін енгізу қажеттілігі негізделген (30 блок, 1 сурет). ҚТР бар АГ ЭТ қуат функциясындағы температураны бақылаушының түзету коэффициентінің тәуелділігі анықталды.

3 кВт ÷ 200 кВт қуат диапазонында ҚТР бар АГ ЭТ үшін статор орамасының кедергісін бақылаушы моделінің қателіктеріне талдау жасалды. 3 суретте көрсетілген ҚТР бар АГ ЭТ қуат функциясындағы түзету коэффициентінің тәуелділігі анықталды.

ҚТР бар АГ ЭТ жылу қорғаудың ұсынылған жанама әдісінің ерекшелігі жылу қорғаудың қолданыстағы әдістерінен ерекшеленеді, өйткені ол жылу бөлу мен жылуды әкетуді ескереді (жылу балансының теңдеулер жүйесі 2).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Ғылыми жұмысты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, ЖТН №АР19677354 «Жел электр станцияларының асинхронды генераторларын жанама жылудан қорғау жүйелерін әзірлеу» жобасы шеңберінде орындалды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде:

Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің математикалық моделі мен MATLAB қолданбалы бағдарламалар пакеті құралдарының көмегімен қуаттың жылу балансының теңдеулері негізінде зерттеу нәтижелерінің сапалық немесе сандық көрсеткіштерін көрсете отырып температураны бақылаушы моделі әзірленді.

Қуаттың жылу балансының теңдеулер жүйесінде температураны анықтау дәлдігінің жоғарылауын қамтамасыз ететін түзету коэффициенті енгізілді және зерттеу нәтижелерінің сапалық немесе сандық көрсеткіштерін көрсете отырып, қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генератордың электромеханикалық түрлендіргішінің қуат функциясына түзету коэффициентінің тәуелділігі анықталды. Бақылаушының ҚТР бар АГ ЭТ статор орамаларының температурасын есептеу қателігін анықтау әдістемесі әзірленді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 ABB Ability™ Smart Sensor. Condition monitoring solution for low voltage motors. Service note. ABB, 2017. 4p.
- 2 Low voltage. General performance motors. – ABB, 2016. – 60 p.
- 3 **Шаманов Р. С., Перекусихина И. А.** Индуктивный первичный измерительный преобразователь заданного значения температуры. Интернет-журнал «Науковедение». Вып. 3, 2014г. С. 1–8.
- 4 DS18B20 – датчик температуры с интерфейсом 1-Wire – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (Дата последнего обращения 23-09-2024).
- 5 **Martin W., Eason A., Patel A.G.** Low Voltage Motor Protection. – Rockwell Automation, 2016. – 30 p.
- 6 **Киреева Э.А., Цырук С.А.** Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М. : Академия, 2013. – 288 с.
- 7 **Plesca Adrian T.** Thermal Analysis of Overload Protection Relays using Finite Element Method // Indian Journal of Science and Technology. – 2013. – Vol. 6. – Iss. 8. – P. 5120–5125.
- 8 **Yurieva E.Y., Shayda V.P., Patsula A.F.** Verification of adequacy of graphic method of determining the final temperature of induction motor heating // Material of International scientific conference MicroCAD. – Kharkov: NPP CHP «Technological Center», 2011. – P. 58–61.
- 9 **Enany T. A., Mostafa M. A. and Othman E. S.**, «Direct Current Signal Injection Enhanced with Artificial Intelligence Technique for Asynchronous Motors Thermal Monitoring,» 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2018, P. 828–833, doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635124.
- 10 **Фираго, Б. И.** Векторные системы управления электроприводами: учеб. пособие / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев – Минск : Выш. шк. , 2016. – 159 с.

REFERENCES

- 1 ABB Ability™ Smart Sensor. Condition monitoring solution for low voltage motors. Service note. ABB, 2017. 4 p.
- 2 Low voltage. General performance motors. – ABB, 2016. – 60 p.
- 3 **Shamanov R. S., Perekusihina I. A.** Induktivnyj pervichnyj izmeritel'nyj preobrazovatel' zadannogo znacheniya temperatury [Inductive temperature setpoint sensor] [Text]. Internet-zhurnal «Naukovedenie». Vol. 3, 2014g. P. 1–8.

- 4 DS18B20 – datchik temperature s interfejsom 1-Wire [DS18B20 – temperature sensor with 1-Wire interface] – [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (data poslednego obrashcheniya 23-09-2024).
- 5 **Martin W., Eason A., Patel A. G.** Low Voltage Motor Protection. – Rockwell Automation, 2016. – 30 p.
- 6 **Kireeva E. A., Cyruk S. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem [Relay protection and automation of electrical power systems]. – М.: Akademiya, 2013. – 288 p.
- 7 **Plesca Adrian T.** Thermal Analysis of Overload Protection Relays using Finite Element Method // Indian Journal of Science and Technology. – 2013. – Vol. 6. – Iss. 8. – P. 5120–5125.
- 8 **Yurieva E. Y., Shayda V. P., Patsula A. F.** Verification of adequacy of graphic method of determining the final temperature of induction motor heating // Material of International scientific conference MicroCAD. – Kharkov: NPP CHP «Technological Center», 2011. – P. 58–61.
- 9 **Enany T. A., Mostafa M. A. and Othman E. S.**, «Direct Current Signal Injection Enhanced with Artificial Intelligence Technique for Asynchronous Motors Thermal Monitoring,» 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2018, P. 828–833, doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635124.
- 10 **Firago, B. I.** Vektornye sistemy upravleniya elektroprivodami [Vector control systems for electric drives]. Ucheb. posobie / B. I. Firago, D. S. Vasil'ev – Minsk : Vysh. shk. , 2016. – 159 p.

22.10.24 ж. баспаға түсті.

26.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Г. С. Нурмаганбетова¹, В. В. Каверин², С. С. Исенов³,

У. К. Искаков⁴, Э. К. Сарсембиева⁵

^{1,3,5}Казахский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда,

⁴ТОО «KAZ MINERALS» Актогай, Республика Казахстан, п. Актогай.

Поступило в редакцию 22.10.24

Поступило с исправлениями 26.11.24

Принято в печать 04.12.24

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАБЛЮДАТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В статье рассмотрена система косвенной защиты электромеханического преобразователя асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором от превышения температуры. С целью построения косвенной системы защиты от перегрева статорных обмоток разработан наблюдатель температуры и алгоритм его работы. Для исследования разработанного алгоритма наблюдателя температуры была создана имитационная модель электромеханического преобразователя асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором. Имитационные исследования выполнены в пакетах прикладных программ MATLAB/SIMULINK и SimPowerSystems. В результате, выполнен анализ зависимостей ошибки модели наблюдателя сопротивления обмотки статора для электромеханического преобразователя асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором от превышения температуры в диапазоне мощностей 3 кВт ÷ 200 кВт. С целью повышения точности вычисления температуры наблюдателя введен поправочный коэффициент и определена его зависимость в функции мощности асинхронного генератора. Ошибка косвенного вычисления температуры электромеханического преобразователя асинхронного генератора с учетом поправочного коэффициента не превышает 1%. Предлагаемый наблюдатель температуры может быть применен для построения защит электромеханического преобразователя асинхронного типа с короткозамкнутым ротором. Предложен принцип построения наблюдателя температуры для

защиты электромеханического преобразователя асинхронного типа с короткозамкнутым ротором от перегрева.

Ключевые слова: электромеханический преобразователь, имитационная модель, тепловая защита, генератор, статор, температура.

*G. S. Nurmaganbetova¹, V. V. Kaverin², S. S. Issenov³,

U. K. Iskakov⁴, E. K. Sarsembieva⁵

^{1,3,5}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda,

⁴LLP «KAZ MINERALS» Aktogay, Republic of Kazakhstan, Aktogay village

Received 22.10.24

Received in revised form 26.11.24

Accepted for publication 04.12.24

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF ASYNCHRONOUS GENERATOR TEMPERATURE OBSERVER WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR

The article considers a system of indirect protection of an electromechanical converter of an asynchronous generator with a short-circuited rotor from temperature excess. In order to build an indirect system of protection against overheating of the stator windings, a temperature observer and an algorithm for its operation have been developed. To study the developed temperature observer algorithm, a simulation model of an electromechanical converter of an asynchronous generator with a short-circuited rotor was created. Simulation studies were performed in MATLAB/SIMULINK and SimPowerSystems application software packages. As a result, the analysis of the dependences of the error of the stator winding resistance observer model for an electromechanical converter of an asynchronous generator with a short-circuited rotor on temperature exceeding in the power range of 3 kW to 200 kW is performed. In order to increase the accuracy of calculating the observer's temperature, a correction factor was introduced and its dependence on the power function of an asynchronous generator was determined. The error of indirect calculation of the temperature of the electromechanical converter of an asynchronous generator, taking into account the correction factor,

does not exceed 1 %. The proposed temperature observer can be used to build protections for an asynchronous type electromechanical converter with a short-circuited rotor. The principle of constructing a temperature observer to protect an electromechanical asynchronous converter with a short-circuited rotor from overheating is proposed.

Keywords: electromechanical converter; simulation model, thermal protection, generator, stator, temperature.

FTAMP 44.31.41

<https://doi.org/10.48081/XNLC6185>

**С. А. Орынбаев^{1,*}, Н. Ш. Абдлахатова², Т. С. Жүсіп³,
А. О. Жанпейісова⁴, А. С. Тлешева⁵**

^{1,2,3,4,5}М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8131-2994>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>

*e-mail: abdlakhatova@list.ru

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ГЕОТЕРМАЛДЫ РЕСУРСТАРЫ ҮШІН РЕНКИН ОРГАНИКАЛЫҚ ЦИКЛЫН ПАЙДАЛАНУ

Мақалада Қазақстанның геотермалды ресурстары бойынша жасалған ақпарат келтірілген. Алматы облысы, (Оңтүстік Қазақстан) Жаркент елді мекенінде орналасқан геотермалды су кен орындарына ерекше назар аударылып, қарастырылды. Зерттеу аясында QGIS 3.32.0 бағдарламасы көмегімен еліміздегі геотермалды ресурстардың орналасуын көрсететін аумақтық карта жасап, цифрландырылды.

Мақаланың мақсаты орташа және төмен температуралы геотермалды су кен орнын пайдалана отырып, Ренкин органикалық циклының (РОЦ) энергетикалық сипаттамасына талдау жасалыны. Әртүрлі органикалық сұйықтықтарды (R134a(фреон), изобутан, R-245fa, изопентан және R245ca) қолдана отырып, Ренкиннің органикалық цикл жүйесіне параметрлік зерттеулер жүргізіліп, термодинамикалық модель қарастырылды. Зерттеу барысында булану температурасы мен ішкі регенератордың ең жоғары температурасы Ренкин органикалық цикл жүйесінің өнімділігі мен жұмысына оң әсерін көрсетті. Графиктер Matlab Simulink бағдарламасының көмегімен тұрғызылды.

Жаркент қаласындағы (Жарқұнақ кенті) №5539 геотермалды су кен орнынан Ренкиннің органикалық циклын пайдаланудың ықтимал

нұсқасы талданып, шағын көлемде электр энергиясын өндірудің қызықты нұсқасы ретінде көрсетілді. Жергілікті геотермалды энергияны пайдалана отырып, Алматы облысы өзінің сыртқы энергия көздеріне тәуелділігін айтарлықтай төмендетіп, болашақта сол арқылы қоршаған ортаға әсерін азайтуға ықпал ете алады.

Кілтті сөздер: Геотермалды ресурстар, Ренкин органикалық циклы (РОЦ), R134a(фреон), изобутан, R-245fa, изопентан, R245ca

Кіріспе

Қазақстанда геотермалдық сулар үлкен Артезиан бассейндерінің арқасында кең етек алды. 1980 жылдары Оңтүстік Қазақстан облыстарында геотермалды ресурстарға кешенді зерттеулер жүргізілді. Бұл зерттеулер 1982-1991 жылдар аралығында Түркістан мен Арыс, сондай-ақ Алматы облысындағы үй-жайларды жылыту және ыстық сумен қамтамасыз етуде қолданылғанын көрсетті.

Республика бойынша жалпы геотермалды көздердің орналасу орнын анықтау үшін (1-сурет) Ө. М. Ахметсафин атындағы гидрогеология және геология институтының (Алматы) деректері бойынша QGIS 3.32.0 бағдарламасы арқылы есептелініп, өңделіп <https://www.qgis.org/ru/site/> цифрландырылды.



Сурет 1 – Қазақстан аумағында геотермалды жерасты суларының орналасу картасы.

1 суреттен көріп отырғанымыздай, картада жасыл түспен белгіленген аймақтағы температурасы 20-40 °C геотермалды көздер Солтүстік Қазақстан, Павлодар, Шығыс Қазақстан, Жамбыл, Қызылорда және Батыс Қазақстан облыстарында орналасқан. Республикадағы жалпы ауданы 14 % км² құрайды.

Сары түспен температурасы 40-75 °C геотермалды көздер Павлодар, Жамбыл, Қызылорда, Маңғыстау (Каспий теңізі маңындағы артезиан бассейні) және Батыс Қазақстан облыстарында таралған, олардың жалпы ауданы Республикада 18 % км² құрайды. Температурасы 75-100 °C қоңыр түспен белгіленген геотермалды көздер Маңғыстау, Атырау және Түркістан облыстарында кең таралған және Республикада жалпы ауданы 5 % км² құрайды. Температурасы 100 °C-тан жоғары, қызғылт түспен белгіленген геотермалды көздер Алматы (Жаркент) және Маңғыстау облыстарында тіркелген және Республикада жалпы ауданы 2 % км² құрайды (температуралық аймақ бойынша ауданы QGIS 3.32.0 бағдарламасымен есептелінген).

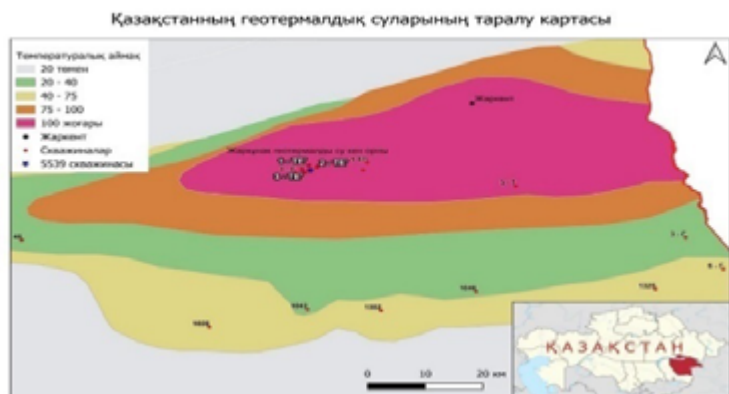
Қазіргі уақытта барлық осы аймақтардағы геотермалды сулар ауыл шаруашылығы, жылыжай, ыстық сумен жабдықтау, үйлерді жылыту және т.б. үшін қолданылады, оларды басқа қызмет салаларында пайдалану перспективалары қарастырылмаған және ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілмеген.

Осы мақсатпен Жаркент қаласында (Жаркұнақ кенті) орналасқан геотермалдық ұңғымалардан Ренкин органикалық циклын пайдалану мүмкіндігі қарастырылған.

Материалдар мен әдістері

Жаркент су қоймасындағы геотермалды судың температурасы Қазақстан тарихындағы тіркелген ең жоғары температура болып табылады. Есептеулер бойынша скважинаның тереңдігіндегі температура 165 °C-қа жетеді [1, 115-б].

«Жаркент бассейнінде геотермалды сулар тау бөктерінде 250-400 м және 4000-4500 м тереңдікте шығарылады, скважиналардың дебиті тәулігіне 120-дан 12000 м³-ке дейін, судың минералдануы 1 000 – 15 000 мг/л аралығында өзгереді». [2, 12-18 бб].



Сурет 2 – Алматы облысы, Жаркент (Жарқұнак) бассейнінің құрылымдық картасы

№ 5539, 1РТ геотермалды су кен орнын, сондай-ақ үш шартты ұңғыманы (№1-ТЭ, 2-ТЭ, 3 – ТЭ) қамтитын Жаркент кентінің орталық бөлігі. Бұрғылау жылы-2016, тереңдігі-2850 м, судың температурасы-103оС, дебиті – 50 л/с [3, 137-144 бб].

Жаркент кентіндегі геотермалды скважиналардың спутниктік көрінісі google Earth бағдарламасымен жасалынды, оны төмендегі сілтеме арқылы көруге болады.

https://earth.google.com/earth/d/1OqEs_vBBNHusNKVt2VREzxIPMbHUGWRo?usp=sharing

Кесте 1 – 2-суретте көрсетілген Жаркент бассейніндегі геотермалды скважиналар тізімі

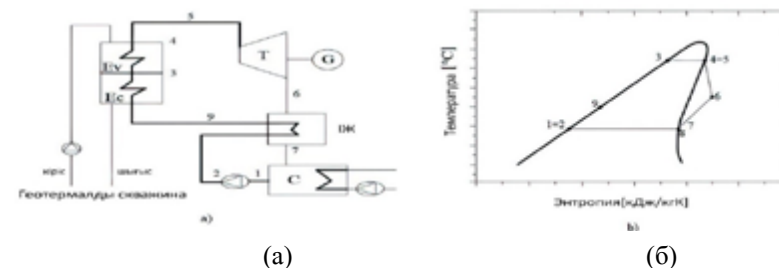
Скважинаның атауы немесе нөмірі	Тереңдігі, (м)	Температурасы (°C)	Дебиті (л/с)	Судың минералдануы (мг/л)
1046		42,4	5,4	800
48		46,0	65,5	
3-Т	3200м	65,3	30,0	412
5539	2850м	103,0	50,5	1000
1-РТ	2885м	98,0	24,2	975-1323
2-ТП	2953м	87,2	21,9	587

1-кестеден көріп отырғанымыздай, № 5539 скважинадағы судың температурасы РОЦ арқылы электр энергиясын өндіруге қолайлы екенін көруге болады.

Қазіргі таңда Ренкин органикалық циклы төмен температуралы геотермалды скважиналарды эксплуатациялауда және аз көлемде электр энергиясын өндіруге қызықты технология болып табылады.

Ренкиннің қалыпты және органикалық циклдары арасындағы негізгі айырмашылығы органикалық сұйықтықты пайдалану болып табылады, ал жұмыс сұйықтығын дұрыс таңдау жүйе жұмысының өнімділігі үшін өте маңызды. Біздің жағдайда R134a(фреон), изобутан, R-245fa, изопентан және R245ca органикалық сұйықтықтары қайнау температурасы төмен және бу қысымы жоғары термодинамикалық қасиеттері негізінде таңдалды. [4]

Ренкин органикалық циклының негізгі компоненттері: сорғы, буландырғыш, турбина/кеңейткіш және конденсатор (сурет 3а). Органикалық жұмыс сұйықтығы буландырғышқа сорғы арқылы беріледі (1-2 процесс), онда сұйықтық алдын ала қыздырылады (2-3), содан кейін буланады (3-4). Сұйықтық турбинаға түсіп, конденсация қысымына дейін кеңейеді (5-6) және қаныққан сұйықтыққа дейін конденсацияланады (6-1). Ішкі жылу алмастырғыш кеңейткіштен (6-7) шыққан кезде жылу энергиясын қалпына келтіру және жүйенің тиімділігін арттыру үшін сығылған сұйықтықты алдын ала қыздыру үшін (2-9) пайдалана алады. 3 б суретте T-s диаграммасындағы цикл көрсетілген. [5, 143-154 бб]



Сурет – 3 Орналасу (а) және (б)T-s диаграммасы. С- Конденсатор, Ес- Экономайзер, Ев- Буландырғыш, Т- Турбина/кеңейткіш, G- Электр генераторы, ІЖ- ішкі жылу алмастырғыш.

Жылу П.Ә.К. η_{th} келесі өрнекпен анықталады:

$$\eta_{th} = \frac{P_u}{Q_i} \tag{1}$$

Мұндағы: P_u – шығыс қуаты;

Q_i – Жұмыс сұйықтығына берілетін жылу қуаты.

Атап айтқанда, таза шығыс қуаты кеңейткіш P_t қуаты мен сорғысы талап ететін қуат арасындағы айырмашылықты білдіреді.

$$P_u = P_t - P_p \quad (2)$$

Жұмыс сұйықтығына берілетін жылу қуаты келесі өрнекпен бағаланады:

$$\eta_{th} = \frac{P_u}{Q_i} \quad (3)$$

Органикалық сұйықтыққа q_i берілетін жылу

$$q_i = h_5 - h_2 \quad (4)$$

Егер ішкі жылу алмастырғыш болмаса

$$q_i = h_5 - h_9 \quad (5)$$

Ішкі регенераторды пайдалану кезінде [6, 76–88 бб] әдебиетке сәйкес ішкі жылу алмастырғыштың тиімділігі анықталады.

$$\eta_{BT} = \frac{h_9 - h_2}{h_6 - h_7} \quad (6)$$

Геотермалды жүйелердің РОЦ сипаттамалары электр энергиясы мен тиімділігі тұрғысынан сипатталды. Зерттеу №5539 скважинаға бағытталды. (1 кесте)

P –Электр қуаты РОЦ үшін

$$P = \eta \cdot P_u \quad (7)$$

Мұндағы, П.Ә.К η механикалық және электрлік шығындарды ескереді, электрлік тиімділігі келесі өрнекпен бағаланады.

$$\eta = \frac{P}{Q_{th}} \quad (8)$$

Атап айтқанда, Q_{th} геотермалды қуаты келесі өрнекпен есептелді.

$$Q_{th} = m(h_{кіріс} - h_{шығыс}) \quad (9)$$

«Мұндағы: m – геотермалды судың массалық шығыны;

$h_{кіріс,шығыс}$ – жылу алмастырғыштан кіріс және шығыс геотермалды судың энтальпиясы.

«Жылу энергиясы геотермалды судан жылу алмастырғыштың ішіндегі органикалық сұйықтыққа ауысады деп болжанған, оның тиімділігі η тең»⁶

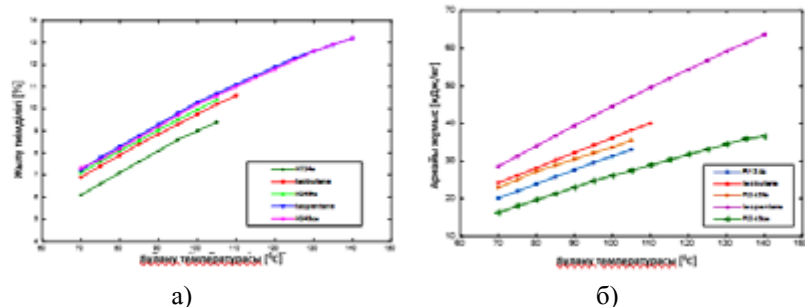
$$Q_i = \eta \cdot Q_{th} \quad (10)$$

Кесте 2 – РОЦ пайдалану параметрлері мен шарттары.

Шарттары	R134a	Изобутан	R-245fa	Изопентан	R245ca
Температурасы[°C]	101.5	134.66	154.1	187.2	174.42
Қысым [Па]	40,56	36.29	36.51	33.78	39.25
К о н д е н с а ц и я л а у температурасы[°C]	30	30	30	30	30
Конденсациялау қысымы [Па]	1.7	4.05	14.9	1.09	1.22
Булану температурасы[°C]	70-140	70 - 140	70- 140	70 – 140	70-140

Нәтижелер және талқылау

«4-суретте жылу тиімділігі (а) және таза меншікті жұмыс (б) сипаттамалары көрсетілген. Графикте (сурет. 4а) [7] әдебиетке сәйкес изобутан, R245fa, изопентан мен R245ca үшін алынған булану температурасы жылу тиімділігінің артуымен біртіндеп жоғарылауын көрсетеді және барлық булану температурасындағы циклдың R134a және R-245fa үшін тиімділігін көрсетті 70 °C температурада цикл тиімділігі R134a, изобутан 5.9 %, R-245fa 7.1% , изопентан үшін шамамен 12.3 % құрады. Максималды мәнге ($\eta_{th} = 13.1$ %) изопентан және R245ca 130-140°C температура аралығында жақсы көрсеткіш көрсетті. »⁷

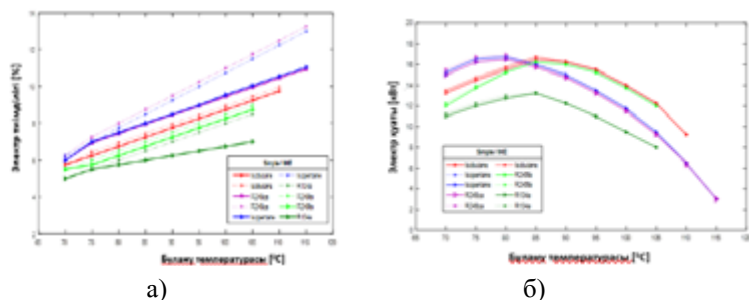


Сурет – 4. Ренкин органикалық циклының жылу тиімділігінің булану температурасына (а) және меншікті жұмысына (б) әсері.

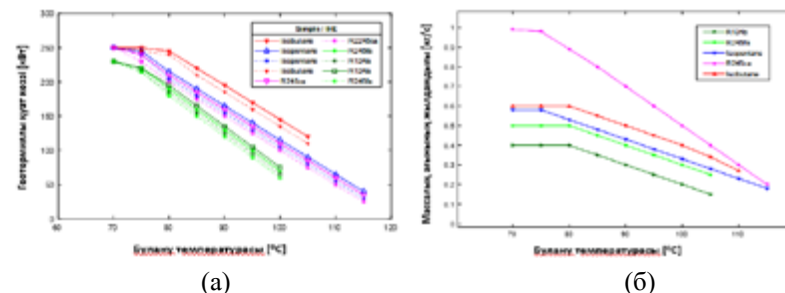
4 (б) суретте меншікті жұмыстың булану температурасына әсері көрсетілген. РОЦ үшін өнімділікті жоғарылату үшін жылу деңгейі неғұрлым жоғарылату тиіс. Мәселен, температура 70°C болған жағдайда изопентан және R245ca үшін 27,8 кДж/кг шамасында болады, ал R245fa, R134a, және изобутан үшін 24,9-дан 15,8 кДж/кг-ға көрсеткішке дейін төмендегенін байқауға болады. R245ca үшін меншікті жұмыс 100°C температурада 32,3 кДж/кг, изопентан 62,8 кДж/кг шамасы аралығында болады [8, 99–124 бб].

5 (а) суретте РОЦ үшін электрлік тиімділік көрсетілген. Графиктен булану температурасының жоғарылауы мен жылу деңгейінің шамасын байқауға болады [9,11-15 бб, 10, 168–186 бб].

Қарастырылып отырған РОЦ үшін (5(б), сурет) булану температурасы орташа (70-800C) аралығында ($P \approx 16,7$ кВт) астам электр қуаты байқалады. Мәселен, электр энергиясы 80 °C температурада изобутанда, ал R245ca мен изопентан үшін максималды булану температурасы 75°C аралығында байқалады. 105°C температурада 10,5 кВт (5 (а), сурет), ал 115 °C температурада электр қуаты 3,1 кВт дейін (6 (б)сурет) төмендейді.



Сурет – 5 Электр тиімділігі (а) және қуаты (б)



Сурет – 6 Булану температурасының геотермалды қуатқа (а) және органикалық сұйықтықтың массалық ағынына (б) әсері.

Неғұрлым булану температурасы жоғарыласа, соғұрлым электр энергиясының төмендегені байқалады. Демек, температура (75-80 °C) аралығында электр қуаты артып, ал керісінше температура жоғарылаған сайын төмендегені байқалады (6(а) сурет). Сондай ақ температураның жоғарылауы Ренкин органикалық цикл үшін жұмыс сұйықтығының массалық ағыны мен энергияның төмендеуіне әкеледі (6(б) сурет). Атап айтсақ 0,57 кг/с (изопентан), 0,99 кг/с (R245ca), 70 °C температурада, ал 0,19-дан 0,25-ке дейін 115 °C температурада төмендейді.

Қорытынды

Ренкин органикалық цикл жүйесінің жұмысына булану температурасының әсері бағаланды. Атап айтқанда, геотермалды судың жылдамдығы мен температурасы 1 кг/с және 105 °C-та тіркелген кезде, барлық зерттелген органикалық сұйықтықтар үшін 16,7 кВт астам таза электр қуаты анықталды. Циклдің ең жоғары тиімділігі мен өнімділігі (13,1% 5(а) сурет) изопентан мен R245ca-да (140°C температурада), ал ұқсас көрсеткіштер R134a, изобутан және R245fa-да байқалады. Сондықтан изопентан мен R245ca жұмыс сұйықтығы ретінде біздің жағдайда Ренкин органикалық цикл үшін ең қолайлы болып табылады және электр қуатын арттыру үшін булану температурасы (75-80 °C) аралығында орнату тиімдірек болады. Бұл зерттеуде тек Ренкин органикалық цикл жүйесінің жұмыс істеу жүйесі мен қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығын таңдап, болашақта еліміздегі геотермалды көздерден электр энергиясын өндіру перспективасы қарастырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Абсаметов, М. К. Подземные воды стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана / М. К Абсаметов, Д. А Касымбеков, Е. Ж Муртазин

// Вестник Казахской Национальной Академии естественных наук. – 2013. – № 3. – С. 115.

2 **Байкадамова, А. М., Sagin J.** Обследование скважины Жаркентского месторождения термальных подземных вод / А.М Байкадамова, J. Sagin // ҚазҰТЗУ. - Алматы, 2021. – 12–18 с.

3 **Муртазин, Е. Мирошниченко, О.; Трушел, Л** Описание информационной системы ресурсов и запасов подземных вод Казахстана / Е Муртазин /19-я Международная междисциплинарная научная геоконференция // 2019, 137–144 с.

4 **Liu, Q., Chen, R., Yang, X., Xiao, X.** Thermodynamic Analyses of Sub and Supercritical ORCs Using R1234yf, R236ea and Their Mixtures as Working Fluids for Geothermal Power Generation. *Energies* 2023, 16, 5676. <https://doi.org/10.3390/en16155676>

5 **Minea, V.** Power generation with ORC machines using low-grade waste heat or renewable energy / V. Minea // *Applied Thermal Engineering* 2014, 69, 143–154 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.04.054>

6 **Овсянник, А. В.** Выбор, расчет и термодинамический анализ турбоустановок на органическом цикле Ренкина / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // *Энергетика* 2022 – Т65, № 1. – 76–88с. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-1-76-88>

7 **Ennio, M., Marco A.** Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems: Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, 2016

8 **Белов, Г. В., Дорохова М. А.** Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике / Г. В Белов, М. А Дорохова // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 2. – С. 99–124.

9 **Клименко, А. В.** Особенности комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода на базе парогазовой установки / А. В. Клименко [и др.] // *Теплоэнергетика*. 2015.–11–15 с. <https://doi.org/10.1134/S0040363615030042>.

10 **Quoilin, S.** Techno-Economic Survey of Organic Rankine Cycle (ORC) Systems / S. Quoilin [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 22. P. 168–186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028>

REFERENCES

1 **Absametov M. K., Kasymbekov D. A., Murtazin E. Zh.** Podzemnyye vody strategicheskiy resurs ustoychivogo razvitiya Kazakhstana [Groundwater is a strategic resource for sustainable development of Kazakhstan] / M.K. Absametov // *Vestnik Kazakhstanskoy Natsional'noy Akademii yestestvennykh nauk* [Bulletin

of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences]. – 2013. – No. 3. – P. 115. [in Russian]

2 **Байкадамова, А. М., Sagin J.** Obsledovanie skvazhiny Zharkentskogo mestorozhdeniya termal'nykh podzemnykh vod [Inspection of the well of the Zharkentskoye field of thermal groundwater] / А.М Байкадамова, J. Sagin // *KazNRTU Vestnic* – Алматы, 2021. – 12–18 p. [In Russian]

3 **Murtazin, E. Miroshnichenko, O. Trushel, L.** Opisanie informatsionnoy sistema resursov i zapasov podzemnykh vod Kazaxstana [Description of the informational system of groundwater resources and reserves of Kazakhstan] / E Murtazin / 19ya Mejdunarodnaya mejdistsiplinarnaya nauchnaya geokonferentsiya [19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference] //2019, 137–144 p. [In Russian]

4 **Liu, Q.; Chen, R.; Yang, X.; Xiao, X.** Thermodynamic Analyses of Sub and Supercritical ORCs Using R1234yf, R236ea and Their Mixtures as Working Fluids for Geothermal Power Generation. *Energies* 2023, 16, 5676. <https://doi.org/10.3390/en16155676>

5 **Minea, V.** Power generation with ORC machines using low-grade waste heat or renewable energy / V. Minea // *Applied Thermal Engineering* 2014, 69, 143–154 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.04.054>

6 **Ovsyannik, A. V.** Vybor, raschet i termodinamicheskij analiz turboustanovok na organicheskom cikle Renkina [Selection, calculation and thermodynamic analysis of turbine installations on the organic Rankine cycle] / A.V. Ovsyannik // *Energetika* 2022 – Т. 65, № 1.– P. 76–88. [in Russian]

7 **Ennio, M., Marco, A.** Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems: Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, 2016

8 **Belov, G.V., Dorohova M. A.** Organicheskiy cikl Renkina i ego primenenie v al'ternativnoj energetike [The organic Rankine cycle and its application in alternative energy] / G.V Belov // *Science and Education: scientific publication of the Bauman Moscow State Technical University* – 2014. – № 2. – P. 99–124 [in Russian]

9 **Klimenko, A. V.** Osobennosti kombinirovannogo proizvodstva elektroenergii, tepla i holoda na baze parogazovoy ustanovki [Features of combined power generation, heat and cold on the basis of a combined cycle gas plant] 2015–11–15 p. <https://doi.org/10.1134/S0040363615030042>.

10 **Quoilin S.** Techno-Economic Survey of Organic Rankine Cycle (ORC) Systems / S. Quoilin [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 22. P. 168–186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028>

21.09.24 ж. баспаға түсті.

08.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

С. А. Орынбаев¹, *Н. Ш. Абдлахатова², Т. С. Жусип³,

А. О. Жанпейісова⁴, А. С. Тлешова⁵

^{1,2,3,4,5}Таразский университет им. М. Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз

Поступило в редакцию 21.09.24

Поступило с исправлениями 08.11.24

Принято в печать 04.12.24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

В статье представлена общая информация о геотермальных ресурсах Казахстана. Особое внимание было уделено геотермальным скважинам, расположенным в Жаркентском регионе Алматинской области (Южный Казахстан). В рамках исследования с помощью программы QGIS 3.32.0 обновлена и оцифрована территориальная карта, показывающая расположение геотермальных ресурсов в стране

Целью статьи является анализ энергетических характеристик органических циклов Ренкина (ОЦР) с использованием низкотемпературных геотермальных источников. Проведены параметрические исследования с использованием различных органических жидкостей (R134a (фреон), изобутан, R-245fa, изопентан и R245ca) и построена термодинамическая модель. В модели было рассмотрено влияние внутреннего регенератора на работу системы. Исследование показало положительное влияние температуры испарения максимальной температуры внутреннего регенератора на производительность и работу системы ОЦР. Графики были построены с помощью программы Matlab Simulink. Проанализирован возможный вариант применения ОЦР в геотермальной скважине №5539 г. Жаркент (Жаркунакское месторождение) и интересный вариант для производства электроэнергии в малых объемах. Казахстан может повысить свою энергетическую независимость и безопасность, используя местные геотермальные ресурсы, которые еще не разведаны для производства электроэнергии.

Ключевые слова: геотермальные ресурсы, органический цикл Ренкина (ОЦР), R134a (фреон), изобутан, R-245fa, изопентан, R245ca.

S. A. Orynbayev¹, *N. S. Abdlahatova², T. S. Zhussip³, A. O. Zhanpeisova⁴,
A. S. Tleshova⁵

^{1,2,3,4,5}M. Kh. Dulaty Taraz University, Republic of Kazakhstan, Taraz

Received 21.09.24

Received in revised form 08.11.24

Accepted for publication 04.12.24

USING THE RANKINE ORGANIC CYCLE FOR GEOTHERMAL RESOURCES OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

Abstract: The article presents general information about geothermal resources of Kazakhstan. Particular attention was paid to geothermal wells located in the Zharkent region of the Almaty region (Southern Kazakhstan). As part of the study, using the QGIS 3.32.0 program, a territorial map was created showing the location of geothermal resources in the country. The aim of the article is to analyze the energy characteristics of organic Rankine cycles (ORCs) using low-temperature geothermal sources. Parametric studies were conducted using various organic liquids (R134a (freon), isobutane, R-245fa, isopentane and R245ca) and a thermodynamic model was built. The model considered the influence of the internal regenerator on the operation of the system. The study showed a positive effect of the evaporation temperature of the maximum temperature of the internal regenerator on the performance and operation of the ORC system. The graphs were built using the Matlab Simulink program.

A possible application of the ORC in the geothermal well No. 5539 of Zharkent (Zharkunakskoye field) and an interesting option for the production of electricity in small volumes are analyzed. Kazakhstan can enhance its energy independence and security by using local geothermal resources that have not yet been explored for electricity production.

Keywords: geothermal resources, organic Rankine cycle (ORC), R134a (freon), isobutane, R-245fa, isopentane, R245ca.

<https://doi.org/10.48081/IKQV3467>

**Н. Н. Оспанова¹, *А. А. Төлепберген², Н. К. Токжигитова³,
С. Д. Байжуманов⁴**

^{1,2,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4757-9008>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-3697>

*e-mail: tolepbergenad@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЙМИФИКАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В современном образовательном пространстве внедрение геймификационных элементов становится все более актуальным инструментом для повышения мотивации и активности обучающихся. Данная работа посвящена разработке веб-приложения, реализующего систему достижений и поощрений, с целью демонстрации эффективности геймификации в образовательных процессах. Веб-приложение разработано с использованием веб-фреймворка Django и предназначено для иллюстрации технических аспектов создания системы поощрения на основе действий пользователей. В статье подробно описаны этапы разработки приложения: настройка среды разработки, создание моделей данных для хранения информации о пользователях, достижениях и баллах, разработка пользовательского интерфейса с использованием Bootstrap для создания современного и адаптивного дизайна. Особое внимание уделено реализации функциональности системы достижений, включая начисление баллов за определенные действия, отображение накопленных достижений и баллов, а также механизмы взаимодействия пользователя с системой. Приведены примеры кода и скриншоты, иллюстрирующие ключевые этапы разработки и функциональные возможности приложения. Результаты показывают, что интеграция геймификационных элементов в образовательные платформы способствует увеличению вовлеченности и активности обучающихся. Практическая

реализация данного приложения подтверждает, что геймификация может стать эффективным инструментом в автоматизации и информатизации систем управления образованием. Работа может служить руководством для разработчиков и педагогов, заинтересованных во внедрении геймификационных подходов в образовательные системы. Предложенный подход способствует повышению мотивации обучающихся и улучшению взаимодействия в образовательной среде, что является важным шагом на пути к модернизации современного образования.

Ключевые слова: геймификация, автоматизация, информатизация систем управления, образование, мотивация, игровые элементы, эффективность.

Введение

В современном мире стремительное развитие информационных технологий оказывает значительное влияние на все сферы человеческой деятельности, включая образование. Одной из ключевых задач современной педагогики становится поиск эффективных методов повышения мотивации и активности обучающихся в условиях цифровой трансформации общества. В этой связи особый интерес представляет использование геймификационных элементов в образовательных процессах [1].

Обоснование выбора темы обусловлено тем, что традиционные методы обучения зачастую не удовлетворяют потребностям современных студентов, выросших в эпоху цифровых технологий. Они привыкли к интерактивности, мгновенной обратной связи и персонализированному подходу, которые характерны для цифровой среды. Геймификация, то есть внедрение игровых механик в неигровые процессы, предлагает новые возможности для повышения вовлеченности и мотивации обучающихся, делая процесс обучения более увлекательным и эффективным [2].

Актуальность темы определяется необходимостью адаптации образовательных систем к современным требованиям и ожиданиям обучающихся. Несмотря на общий интерес к геймификации в образовании, существует недостаток комплексных решений, интегрирующих геймификационные элементы непосредственно в системы управления образованием. Это создает пробел между теоретическими исследованиями в области геймификации и их практическим применением в образовательных учреждениях. Отсутствие исчерпывающих ответов на вопросы о том, как эффективно внедрить геймификацию в образовательные платформы, подтверждает необходимость проведения данной работы.

Теоретическая и практическая значимость темы заключается в том, что геймификация не только повышает мотивацию и активность обучающихся, но и способствует улучшению усвоения материала и развитию навыков самообразования [3]. Разработка веб-приложения с системой достижений и поощрений позволяет продемонстрировать практическую реализацию геймификационных подходов и их интеграцию в автоматизированные системы управления образованием. Это, в свою очередь, способствует созданию более эффективных и современных образовательных платформ.

Целью данной работы является разработка веб-сайта, показывающего применение геймификационных элементов в автоматизации и информатизации систем управления образованием для повышения активности обучающихся. Для достижения данной цели были поставлены задачи:

- 1) Исследовать теоретические основы геймификации в образовании и ее влияние на мотивацию обучающихся.
- 2) Придумать структуру веб-приложения с системой достижений и поощрений.
- 3) Создать веб-приложение с использованием фреймворка Django.

Практическая работа данной статьи, заключается в создании веб-сайта с системой достижений и поощрений, который покажет, как геймификационные элементы могут быть внедрены в образовательные платформы.

Материалы и методы

Геймификация – это использование игровых элементов и механик в неигровых контекстах для повышения вовлеченности и мотивации пользователей [4]. В образовании геймификация направлена на стимулирование активности учащихся, повышение эффективности обучения и интереса к учебному процессу [5].

Основными элементами геймификации являются:

- 1) Баллы – числовые показатели, показывающие прогресс пользователя.
- 2) Значки и достижения – визуальные символы, подтверждающие достижение определенных целей или выполнение задачи.
- 3) Таблицы лидеров – рейтинги, позволяющие пользователям сравнивать свои результаты с другими.
- 4) Уровни – этапы прогресса, отражающие рост навыков и достижений.

Применение таких элементов в образовательных системах основано на теориях мотивации, таких как самоопределение личности, которая подчеркивает важность внутренней мотивации и удовлетворения базовых психологических потребностей [6].

Геймификация в образовании способствует повышению мотивации, стимулируя интерес к учебным материалам с помощью игровых механик, усиливая обучение за счет активного взаимодействия учащихся с контентом

и развивая навыки самообучения, поощряя самостоятельное обучение и исследование [7]. Для разработки веб-приложения были использованы язык программирования Python 3.10, веб-фреймворк Django 4.2, СУБД SQLite, виртуальное окружение Python (venv), язык разметки гипертекстовых документов HTML, CSS для оформления дизайна, Bootstrap для фронтенд-разработки, Visual Studio Code, как основная среда разработки с поддержкой расширений для Python и Django.

Веб-приложение разрабатывалось с использованием итеративной методологии с акцентом на модульность и расширяемость. Основные этапы разработки: анализ и проектирование системы, настройка среды разработки, создание веб-приложения в Django, моделирование данных, создание шаблонов для пользовательского интерфейса, реализация системы аутентификации и регистрации пользователей, интеграция системы достижений.

Этапы разработки:

- 1) Настройка среды разработки. Создание виртуального окружения и установка необходимых пакетов (1-рисунок).

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19H45.5611]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation). Все права защищены.

C:\Users\ACER>cd C:\Users\ACER\Desktop\project
C:\Users\ACER\Desktop\project>python -m venv env
C:\Users\ACER\Desktop\project>env\Scripts\activate
(env) C:\Users\ACER\Desktop\project>pip install django
Collecting django
  Using cached django-5.1.2-py3-none-any.whl (8.3 MB)
Collecting asgiref<4.0, >=3.8.1
  Using cached asgiref-3.8.1-py3-none-any.whl (23 kB)
Collecting sqlparse<0.5.1
  Using cached sqlparse-0.5.1-py3-none-any.whl (44 kB)
Collecting tzdata
  Using cached tzdata-2024.2-py2.py3-none-any.whl (366 kB)
Collecting typing_extensions<4
  Using cached typing_extensions-4.12.2-py3-none-any.whl (37 kB)
Installing collected packages: tzdata, typing_extensions, sqlparse, asgiref, django
Successfully installed asgiref-3.8.1 django-5.1.2 sqlparse-0.5.1 typing_extensions-4.12.2 tzdata-2024.2
WARNING: You are using pip version 22.0.4; however, version 24.1.1 is available.
You should consider upgrading via the 'C:\Users\ACER\Desktop\project\env\Scripts\python.exe -m pip inst
command.

(env) C:\Users\ACER\Desktop\project>
  
```

Рисунок 1 –Настройка среды разработки

- 2) Создание проекта и приложения. Инициализация проекта Django и создание приложения rewards (2-рисунок).

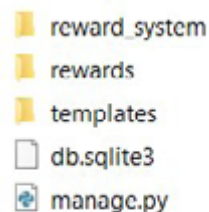


Рисунок 2 – Создание проекта и приложения

3) Моделирование данных. Создание моделей для системы достижений (3-рисунок).

```

from django.db import models
from django.contrib.auth.models import User

class Achievement(models.Model):
    name = models.CharField(max_length=100)
    description = models.TextField()
    points = models.PositiveIntegerField(default=0)

    def __str__(self):
        return self.name

class UserAchievement(models.Model):
    user = models.ForeignKey(User, on_delete=models.CASCADE)
    achievement = models.ForeignKey(Achievement, on_delete=models.CASCADE)
    data_earned = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    def __str__(self):
        return f"{self.user.username} | {self.achievement.name}"

class Reward(models.Model):
    name = models.CharField(max_length=100)
    description = models.TextField()
    required_points = models.PositiveIntegerField()

    def __str__(self):
        return self.name

class UserReward(models.Model):
    user = models.ForeignKey(User, on_delete=models.CASCADE)
    reward = models.ForeignKey(Reward, on_delete=models.CASCADE)
    data_redemption = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    def __str__(self):
        return f"{self.user.username} | {self.reward.name}"

```

Рисунок 3 – Моделирование данных

Пример созданного веб-сайта (4-рисунок).

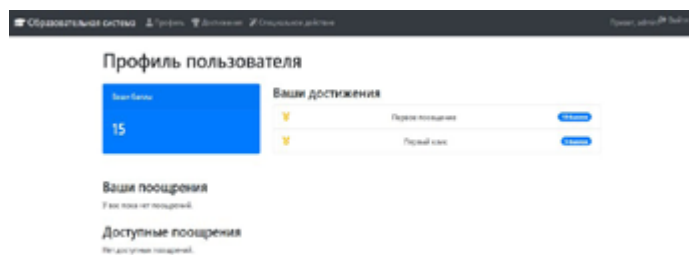


Рисунок 4 – Созданный веб-сайт

Также был создан раздел «Достижения» для отображения полученных достижений (5-рисунок).

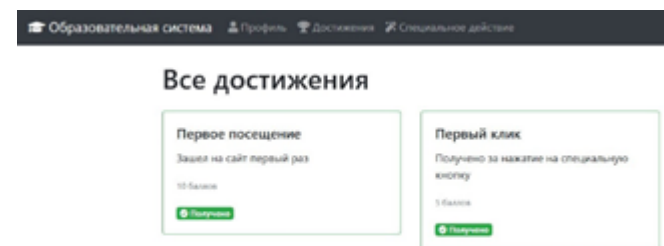


Рисунок 5 – Раздел достижения

Результаты и обсуждение

В результате разработки было создано веб-приложение с системой достижений, позволяющей пользователям получать баллы за выполнение определенных действий. Приложение предоставляет следующие возможности: регистрация и аутентификация пользователей, просмотр профиля с информацией о баллах и достижениях, получение достижений при взаимодействии с приложением.

Интеграция геймификационных элементов, таких как система достижений, демонстрирует потенциальное увеличение мотивации обучающихся. Техническая реализация с использованием Django позволяет гибко наращивать функциональность и интегрировать дополнительные компоненты, например, систему поощрений или рейтинги. При разработке особое внимание было уделено модульности и расширяемости кода, что облегчает дальнейшее развитие приложения и его адаптацию под различные образовательные платформы.

Информация о финансировании (при наличии)

Это исследование выполнено в рамках грантового финансирования проекта (грант № AP19677291), выделяемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Разработанное веб-приложение успешно демонстрирует возможность использования геймификационных элементов для повышения активности обучающихся в образовательных системах. Техническая реализация на базе Django обеспечивает надежность и масштабируемость приложения. Внедрение таких систем в образовательные процессы может способствовать

улучшению взаимодействия между обучающимися и образовательной платформой, повышению мотивации и эффективности обучения.

Перспективы дальнейшей работы включают расширение функциональности приложения, добавление системы поощрений, интеграцию с внешними образовательными сервисами и проведение исследований по оценке эффективности геймификации в реальных образовательных средах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Y. A. Soulimani, L. Elaachak, M. Bouhorma**, «Digitalization of educational plays for quality education», International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 14, no. 5, 2024, pp. 5443-5457, <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/35517/17684>

2 **Лукин, В. Н., Дзюбенко А. Л., Чечиков Ю. Б.** Подходы к разработке пользовательского интерфейса. Программирование, – 2020. – С. 16-24, <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=program&y=2020&v=0&n=5&a=Program2005005Lukin>

3 **Детердинг, С., Диксон, Д., Халед, Р., Наке, Л.** От элементов игрового дизайна к игровости: Определение геймификации // Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. – 2011. – С. 9-15, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2181037.2181040>

4 **Свеллер, Дж.** Когнитивная нагрузка и образовательные технологии // Educational Psychology Review. – 2010. – Т. 22, №2. – С. 123-138, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-010-9128-5>

5 **F. L. Khaleel, N. S. Ashaari, T. S. M. T. Wook**, «The impact of gamification on students learning engagement», International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 10, no. 5, 2020, pp. 4965-4972, <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/17073/14213>

6 **Бойд, Д. М., Эллисон, Н. Б.** Сайты социальных сетей: Определение, история и исследования // Journal of Computer-Mediated Communication. – 2007. – Т. 13, №1. – С. 210-230, <https://academic.oup.com/jcmc/article/13/1/210/4583062>

7 **Кёлер, М. Дж., Мишра, П., Кэйн, У.** Что такое технологические педагогические знания содержания (ТРАСК)? // Contemporary Issues in Technology and Teacher Education. – 2009. – Т. 9, №1. – С. 60-70, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002205741319300303>

8 **Норман, Д.** Дизайн привычных вещей. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 24 с, <https://www.mann-ivanov-ferber.ru/catalog/product/dizajn-privyichnyix-veshhej/>

9 **Лориллард, Д.** Переосмысление университетского преподавания: Конверсационная рамка для эффективного использования образовательных технологий. – Лондон : Routledge, 2013. – 248 с, <https://doi.org/10.4324/9781315012940>

10 **J. Chang, H. Wei**, «Exploring Engaging Gamification Mechanics in Massive Online Open Courses», Educational Technology & Society, vol. 19, no. 2, 2016, P. 177-203, <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.19.2.177>

REFERENCES

1 **Y. A. Soulimani, L. Elaachak, M. Bouhorma**, «Digitalization of educational plays for quality education», International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 14, No. 5, 2024, P. 5443–5457, <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/35517/17684>

2 **Lukin, V. N., Dzyubenko A. L., Chechikov, Y. B.** Podhody k razrabotke polzovatelskogo interfeisa [Approaches to User Interface Development] [Text]. Programming, – 2020, – P. 16–24, <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=program&y=2020&v=0&n=5&a=Program2005005Lukin>

3 **Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., Nacke, L.** Ot elementov igrovogo dizayna k igrovosti: Opredelenie geymifikatsii [From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification] [Text]. // Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. – 2011. – P. 9–15, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2181037.2181040>

4 **Sweller, J.** Kognitivnaya nagruzka i obrazovatelnye tekhnologii [Cognitive Load Theory and Educational Technology] [Text]. // Educational Psychology Review. – 2010. – Vol. 22, No. 2. – P. 123–138, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-010-9128-5>

5 **F. L. Khaleel, N. S. Ashaari, T. S. M. T. Wook**, «The impact of gamification on students learning engagement», International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 10, No. 5, 2020, P. 4965–4972, <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/17073/14213>

6 **Boyd, D. M., Ellison, N. B.** Sayty sotsialnykh setey: Opredelenie, istoriya i issledovaniya [Social Network Sites: Definition, History, and Scholarship] [Text]. // Journal of Computer-Mediated Communication. – 2007. – Vol. 13, No. 1. – P. 210–230, <https://academic.oup.com/jcmc/article/13/1/210/4583062>

7 **Koehler, M. J., Mishra, P., Cain, W.** Chto takoe tekhnologicheskie pedagogicheskie znaniya soderzhaniya (TRASK)? [What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TRASK)?] [Text]. // Contemporary Issues in Technology and Teacher Education. – 2009. – Vol. 9. No. 1. – P. 60–70, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002205741319300303>

8 **Norman, D.** Dizayn privyichnykh veshchey [The Design of Everyday Things] [Text]. – Basic Books, 2013. – 384 p, <https://www.mann-ivanov-ferber.ru/catalog/product/dizajn-privyichnyix-veshhej/>

9 **Laurillard, D.** Pereosmyslenie universitetskogo prepodavaniya: Konversatsionnaya ramka dlya effektivnogo ispolzovaniya obrazovatelnykh tekhnologiy [Rethinking University Teaching: A Conversational Framework for the Effective Use of Learning Technologies] [Text]. – Routledge, 2013. – 272 p, <https://doi.org/10.4324/9781315012940>

10 **J. Chang, H. Wei,** «Exploring Engaging Gamification Mechanics in Massive Online Open Courses», Educational Technology & Society, vol. 19, No. 2, 2016, P. 177–203, <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.19.2.177>

Поступило в редакцию 31.09.24
Поступило с исправлениями 26.11.24
Принято в печать 04.12.24

*Н. Н. Оспанова¹, *А. А. Төлепберген², Н. К. Токжигитова³,
С. Д. Байжуманов⁴*
^{1,2,3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
31.09.24 ж. баспаға түсті.
26.11.24 ж. түзетулерімен түсті.
04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БІЛІМ БЕРУДІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН АВТОМАТТАНДЫРУ МЕН АҚПАРАТТАНДЫРУДА ГЕЙМИФИКАЦИЯЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ

Қазіргі білім беру кеңістігінде геймификациялық элементтерді енгізу студенттердің мотивациясы мен белсенділігін арттырудың өзекті құралына айналуда. Бұл жұмыс білім беру процестерінде геймификацияның тиімділігін көрсету мақсатында жетістіктер мен марапаттау жүйесін жүзеге асыратын веб-қосымшаны әзірлеуге арналған. Веб-қосымша Django веб-фреймворкін пайдалану арқылы әзірленген және пайдаланушылардың әрекеттеріне негізделген марапаттау жүйесін құрудың техникалық аспектілерін көрсетуге арналған. Мақалада қосымшаны әзірлеу кезеңдері сипатталған: әзірлеу ортасын орнату, пайдаланушылар, жетістіктер және ұпайлар туралы ақпаратты сақтау үшін деректер модельдерін құру, заманауи дизайн жасау үшін Bootstrap пайдаланып пайдаланушы интерфейсі әзірлеу. Жетістіктер жүйесінің функционалдығын

іске асыруға ерекше назар аударылады, соның ішінде белгілі бір әрекеттер үшін ұпайларды есептеу, жиналған жетістіктер мен ұпайларды көрсету, сондай-ақ жүйемен пайдаланушының өзара әрекеттесу механизмдері. Қосымшаның негізгі даму кезеңдерін және функционалдық мүмкіндіктерін көрсететін код үлгілері мен суреттер келтірілген. Нәтижелер білім беру платформаларына геймификациялық элементтерді интеграциялау студенттердің қатысуы мен белсенділігін арттыруға ықпал ететінін көрсетеді. Осы қосымшаның практикалық іске асырылуы геймификация білім беру басқару жүйелерін автоматтандыру мен ақпараттандыруда тиімді құрал бола алатынын растайды. Бұл жұмыс білім беру жүйелеріне геймификациялық тәсілдерді енгізуге қызығушылық танытқан әзірлеушілер мен педагогтар үшін нұсқаулық ретінде қызмет ете алады. Ұсынылған тәсіл студенттердің мотивациясын арттыруға және білім беру ортасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуға ықпал болып табылады.

Кілтті сөздер: геймификация, автоматтандыру, басқару жүйелерін ақпараттандыру, білім беру, мотивация, ойын элементтері, тиімділік.

*N. N. Ospanova¹, *A. A. Tolepbergen², N. K. Tokzhigitova³, S. D. Bayzhumanov⁴*
^{1,2,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
Received 31.09.24
Received in revised form 26.11.24
Accepted for publication 04.12.24

THE USE OF GAMIFICATION ELEMENTS IN THE AUTOMATION AND INFORMATIZATION OF EDUCATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS

In the modern educational landscape, the integration of gamification elements is becoming an increasingly relevant tool for enhancing student motivation and engagement. This work is dedicated to the development of a web application that implements an achievements and rewards system to demonstrate the effectiveness of gamification in educational processes. The web application is developed using the Django web framework and is intended to illustrate the technical aspects of creating a reward system based on user actions. The article provides a detailed description of the stages of application development: setting up the development environment,

creating data models for storing information about users, achievements, and points, developing a user interface using Bootstrap to create a modern and responsive design. Special attention is paid to the implementation of the functionality of the achievement system, including the accrual of points for specific actions, displaying accumulated achievements and points, and mechanisms for user interaction with the system. Examples of code and screenshots are provided to illustrate key stages of development and the application's functional capabilities. The results show that integrating gamification elements into educational platforms contributes to increased engagement and activity among students. The practical implementation of this application confirms that gamification can become an effective tool in the automation and informatization of education management systems. This work can serve as a guide for developers and educators interested in implementing gamification approaches in educational systems. The proposed approach contributes to increasing student motivation and improving interaction within the educational environment, which is an important step toward modernizing contemporary education.

Keywords: gamification, automation, informatization of management systems, education, motivation, game elements, effectiveness.

FTAMP 87.17.81

<https://doi.org/10.48081/SSTN6854>

***Г. К. Сыдыкова¹, Ж. Т. Жүнісов², И. Б. Құлтан³,
И. А. Утемуратова⁴, З. Р. Құдайберген⁵**

^{1,2,3,4,5}Қорқыт Ата атындағы Қызылорда Университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3934-5653>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-0425>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7170-3203>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6234-0520>

*email: sydykova77@mail.ru

СУ ЭЛЕКТРОЛИЗИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖАСЫЛ СУТЕГІНІ АЛУ ӘДІСТЕРІ

Энергия көзі ретінде сутегі жаңартылатын электр қуатын су электролизі жүйелерімен біріктіру арқылы климаттың өзгеруін азайтудың оңтайлы жолы ретінде анықталды. Протон алмасу мембранасы (ПАМ) технологиясы өңдеуге және техникалық қызмет көрсетуге байланысты қиындықтарды азайта отырып, жоғары таза сутегіні тиімді өндіру қабілетіне байланысты айтарлықтай назар аудартып отыр. Сутегі өндірудің тағы бір технологиясы болып табылатын сілтілі су электролизі сутегі өндірісінде кеңінен қолданылады. Анион алмасу мембранасы (ААМ) технологиясы салыстырмалы түрде төмен шығындармен сутегіні өндіре алады, өйткені протон алмасу мембранасы және сілтілі су электролизі жүйелерінде қолданылатын асыл металл катализаторлары әдеттегі арзан электр катализаторлармен ауыстырылады. Қатты оксидті электролиздік элемент технологиясы салыстырмалы түрде жоғары түрлендіру тиімділігімен, төмен бағамен және төмен шығарындыларымен сутегіні өндіруге арналған технология болып табылады. Дегенмен, қатты оксидті электролиз әдісінің жұмыс температурасы жоғары, бұл ұзақ іске қосу уақытын қажет етеді. Бұл мақалада электролиз жүйесінде суды пайдалануға қабілетті технологиялардың ағымдағы жағдайын қарастырады. Жаңартылатын электр қуатын, су электролизін және отын

элементтерін біріктіру арқылы қуат пен таза су қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін интеграцияланған жүйелік тәсіл ұсынылды.

Кілтімі сөздер: сутегі, парниктік газдар, су электролизі, электрлік катализатор, анион алмасу мембранасы, протон алмасу мембранасы.

Кіріспе

Соңғы жылдары халық санының үздіксіз өсуі мен энергияны көп қажет ететін өмір салтының нәтижесінде жаһандық энергияға сұраныстың артуына байланысты қазба отындарын тұрақсыз пайдалану және жаһандық жылыну туралы алаңдаушылық күшейді. Энергия ресурстары адамның барлық қызметін қамтамасыз ету үшін қажет, сондықтан энергияның жаһандық көміртегі бейтараптығына көшуін жеделдету үшін жаңартылатын энергия көздерін дамыту маңызды болып саналады. Сонымен қатар, сутегінің жоғары гравиметриялық энергия тығыздығы (140 МДж/кг) және таза энергия тасымалдаушысы ретінде пайдалы физикалық және химиялық қасиеттері бар [1, 391-б.].

Бірнеше ондаған жылдар бойы сутегі алудың әртүрлі технологиялары зерттелді, мысалы, бу метанының риформингі, биомасса, су электролизі және т.б. сутегіні өндірудің әртүрлі технологияларының жалпы өндірістік қуаттағы үлесі 1- кестеде келтірілген. Қазіргі уақытта көмірсутектерден сутегі өндіру әлемдік нарықтың шамамен 96 % құрайды [2, 4017-б.].

Судың сутегі мен оттегіге ыдырауы бірқатар химиялық реакциялар арқылы жүреді. Судың конверсиясы 800–2000°C жоғары температура диапазонында жүреді. Күн және атом электр станциялары суды термохимиялық бөлу процесіне қажетті жылуды өндіре алады [3;4].

Кесте 1– Әлемдік сутегі өндіру көздері

энергия көзі	миллиард тек.метр/ жылына	үлес (%)
Табиғи газ	240	48
Мұнай	150	30
Көмір	90	18
Электролиз	20	4
Барлығы	500	100

Қолданыстағы су электролизерінің технологияларын салыстыру.

Сутегі ең алдымен қазба отынның бу реформациясы арқылы түзіледі, оның технологиялық жұмысы көмірқышқыл газының шығарындыларымен

қиындайды. Су электролизі электр энергиясының көзі ретінде жаңартылатын энергияны пайдалану кезінде сутегіні шығарудың ең тиімді технологиясы болып табылады.

Жасыл сутегі өндірісінің шығындарына күн, толқын, геотермалдық және жел энергиясынан алынатын жаңартылатын электр энергиясы әсер етеді. Сонымен қатар, күн фототүрлендіргіші (PV) жасыл электр энергиясының ең арзан көзіне айналды.

Сонымен қатар, электролизді қамтитын сутегі өндірісі әртүрлі жаңартылатын электр көздерін пайдалану арқылы икемді жұмыс істей алады. Ең маңызды фактор – жаңартылатын электр көзінің тұрақтылығы. Судың электролизі жоғары таза сутегіні өндіре алады және оны жаңартылатын энергиямен біріктіруге болады. Энергетикалық жүйе моделінің сұлбасы 1- суретте көрсетілген.



Сурет –1 Энергетикалық жүйе моделінің сұлбасы.

Материалдар мен әдістері

Су электролизінің термодинамикалық талдауы

Жалпы алғанда, тазартылған немесе ионсыздандырылған суды протон алмасу мембранасы электролизерлері үшін шикізат ретінде пайдалануға болады. Тұщы суды өзендерден, жер асты суларынан және көлдерден алуға болады, бірақ бірнеше фильтрация қадамдарын қажет етеді. Сонымен қатар, судың түрлері судағы кермектік пен тұздарға байланысты өзгеруі мүмкін. Соңғы 15 жыл ішінде протон алмасу мембранасы электролизер жүйелерінің жұмысына көптеген эксперименттік зерттеулер жүргізілді [5, 340-б.].

Су электролизінің түрлері

Су электролизінің көптеген технологиялары төменгі жұмыс температурасында судан сутегі мен оттегіні шығарады. Сутегіні алу үшін су электролизінің негізгі түрлеріне сілтілі электролиз, протон алмасуының

мембраналық электролизі, қатты оксидті электролиз және анион алмасу мембранасы электролизі жатады. Бұл электролизер түрлері келесі бөлімдерде талқыланады.

Сілтілік су электролизері

Сілтілі су электролизерлері, әдетте, кең ауқымды қолданбаларда сутегіні алу үшін қолданылады. Никель (Ni) және кобальт оксидтері сәйкесінше анодты және катодты материалдарды қалыптастыру үшін қолданылады. 3- суретте сілтілі су электролизерінің элементінің принциптік сұлбасы көрсетілген. Анод пен катодтың әрекеті сутегі мен оттегіні түзеді. Бөлгіш кеуекті диафрагма екі электрод арасына орнатылып, гидроксил иондары (OH⁻) түзіліп, асбест және полимерлер сияқты керамикалық оксидті материалдардан жасалған кеуекті диафрагма материалдары арқылы өтеді. Сутегі мен гидроксид катодта 65–100°C орташа жұмыс температурасында өндіріледі, содан кейін гидроксид реакциясы арқылы анодта оттегі пайда болады. Сілтілі су электролизерінің конверсиялық тиімділігі 60–80%, ал ұяшықтардың жұмыс кернеуі 1,8–2,4 В құрайды [6,55-6.]. Сілтілік электролизердің артықшылығы төмен температурада жұмыс істей алады.

Протон алмасуының мембраналық электролизері

Протон алмасу электролизерлері 70–90 °C төмен температура диапазонында жоғары таза сутегіні шығара алады. Иридий оксиді (IrO₂) және платина (Pt) сәйкесінше анод және катодты катализатор материалы ретінде пайдаланылады. Нафион мембранасы әдетте сутегі иондарын (H⁺) өткізу үшін қолданылады, ол сілтілі электролизердегі сұйық электролитке қарағанда қатты электролит ретінде қолданылады [7, 5046-6.]. Протон алмасу мембранасының электролизер ұяшығының сұлбалық диаграммасы және реакция механизмі 4-суретте көрсетілген. Сутегі иондары сутегі молекулаларын түзу үшін қатты мембрана арқылы өтеді. Электролиттің қышқылдық қасиетіне және электродтың металдық беттеріне байланысты электролизердің реакция кинетикасы сілтілі жасушамен салыстырғанда жылдам индукцияланады. Протон алмасу мембранасы электролизерінің маңызды мәселесі олардың ауқымды қолданбалары үшін масштабтаудағы қиындықтар болып табылады.

Қатты оксидті электролизер

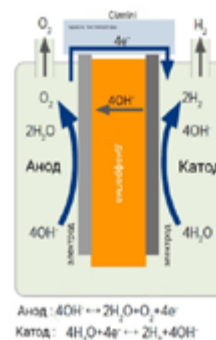
Қатты оксидті электролизерлерде ұяшық 900–1000 °C диапазонында сілтілі және протон алмасу мембранасы электролизерлеріне қарағанда айтарлықтай жоғары температурада жұмыс істейді. Ұяшық электродтары никельден жасалған және сутегіні бөлу процесі үшін электр энергиясын аз қажет ететіндігі 5- суретте көрсетілген. Жылыту мақсатында электр энергиясына деген тәуелділікті азайту үшін әртүрлі жылу беру көздерін, мысалы, қалдық жылу мен ядролық энергияны пайдалануға

болады [8, 370-6.]. Сонымен қатар, жұмыс температурасының жоғарылауымен ұяшықтардың тиімділігі артады. Өкінішке орай, жоғары температура электролиттердің деградация жылдамдығын арттырады және электролизердің қызмет ету мерзімін қысқартады.

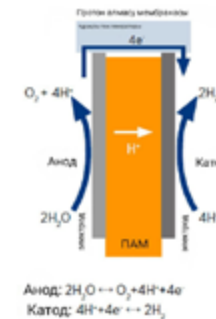
Анион алмасу мембранасы

Анион алмасу мембранасы – сутегі электролизінің ең соңғы технологиясы, негізінен соңғы бірнеше жыл ішінде сутегі өндіруге арналған электр химиялық қосымшаларға негізделген. Анион алмасу мембранасы электролизері сілтілі және протон алмасу мембранасы су электролизерлерінің артықшылықтарын біріктіреді. Анион алмасу мембранасы жасушасының реакция механизмі 6- суретте көрсетілген. Анион алмасу мембранасы жасушалары үшін катализатор ретінде түсті металдың материалдарын қолдануға болады, бұл сутегі өндірісінің шығындарын төмендетуге әкеледі.

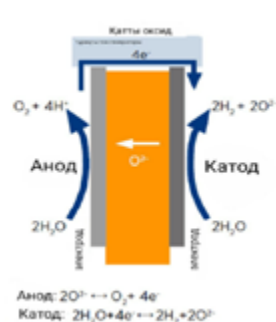
Қатты оксидті және анион алмасу мембранасы электролизерлері әлі де ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар сатысында сілтілі және протон алмасу мембранасы технологияларымен салыстырғанда азырақ жетілгені анық. Анион алмасу мембранасы артықшылықтарына жалпы құнының төмендеуі және H₂ өндірісінің жоғары тұрақтылығы жатады [9, 1379-6.].



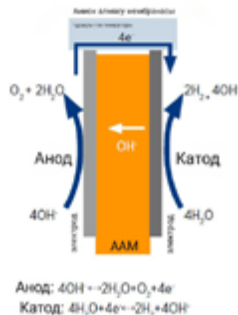
Сурет 2 – Сілтілік су электролизерінің технологиясы



Сурет 3 – Протон алмасу мембранасы су электролизерінің сұлбасы мен реакция механизмі



Сурет 4 – Қатты оксидті электролизердің реакция механизмі



Сурет 5 – ААМ реакциясының механизмі

Нәтижелер және талқылау

Су электролизіне арналған электрлік катализаторлар

Протон алмасу мембранасының су электролизіндегі сутегінің және оттегінің бөліну реакциясы

Протон алмасу мембранасы және сілтілі су электролизерлерінде қолданылатын ең көп тараған сутегі өндіру катализаторларын қарастырайық. Сутегі электролиз ұяшығының катодты жағында пайда болады. Қазіргі уақытта платина (Pt) негізіндегі материалдар протон алмасу мембранасы катодтары үшін ең қолайлы болып табылады, өйткені олар қышқыл электролиттерде айтарлықтай сутегі бөлінуін белсендіреді. Сонымен қатар, платина (Pt) негізіндегі электр катализаторлар протон алмасу мембранасы электролизіне арналған заманауи электр химиялық катализаторлар болып саналады. Дегенмен, платина (Pt) қол жетімсіздігі және жоғары құны оны ауқымды түрде қолдануды шектейді, сондықтан протон алмасу мембранасы электролизерлерін қолдану мүмкіндігін арттыру үшін тұрақтылығы жоғары белсенді катализаторларды жасау қажет. Қазіргі уақытта платина (Pt) катализаторының жүктемесін азайтуға бағытталған көміртекті наноталшықтардағы көміртекті қабықтың жоғары белсенділігі мен беріктігі зерттеліп, платина (Pt) және CNF атомдары арасында жоғары өзара әрекеттесу мен электр каталитикалық белсенділікті көрсетті. Электр каталитикалық бетінде электронды құрылым катодта сутегі адсорбциясын арттыратын катионды қоспалау арқылы жақсартылды [10, 21457-6].

Су электролизерлерінен сутегіні алу жолдары

Таза емес су электролизерлерін зерттеудің көпшілігі анодтық реакцияларға бағытталған, дегенмен электролизер екі электродқа да - катодқа да, анодқа да қосылуы керек. Анион алмасу мембранасы және

протон алмасу мембранасы электролиз жасушаларында катион элементінің концентрациясы мен әсеріне байланысты өзіндік қиындықтар бар. Катализатордың жоғары жүктемесі және электрод құрылымы сияқты қымбат емес материалдарды пайдалану арқылы ұяшық өнімділігін үздіксіз жақсарту қажет, ал мембраналық электродтар жинағының өткізгіштігін сақтау электролизер өнімділігін арттырады. Сонымен қатар, катализатордың беріктігі мен морфологиясы, катализатор фазасы және құрамы сияқты сипаттамалар арасындағы байланысты зерттеуді қажет етеді. Қоспалардың катализатор қабатына және мембраналық электродтар жинағына түсуі мембрананың өткізгіштігі мен жасушаның беріктігін төмендетеді. Барлық электролиз жүйелеріне су қоспалары, соның ішінде ластанған су немесе теңіз суы әсер етеді. Сондықтан, мембрана элементінің деградациясын бағалау үшін қосымша зерттеулер қажет. Мембрананың тозуы негізгі төзімділік параметрі болып саналады, бұл мембрананы және барлық электролизер бөліктерін тезірек және жиі ауыстыруға әкелуі мүмкін. Теңіз суымен электролизердің энергия тиімділігі таза судың өнімділігінен төмен. Таза судың үстінде мембрананың деградациясы артады, бұл сутегі өндірісінің қымбаттауына әкеледі. Электролизер арқылы жаңартылатын сутегіні өндіру су мен энергияны қажет етеді. Электролиз жүйесінде бір кг H₂-ге шамамен 9 кг суды пайдаланатын су аз болады. Электрмен жабдықтаудың құнын электр қондырғыларымен және электролизер элементтерін біріктіру арқылы азайтуға болады. Электр энергетикалық және электролизерлік жүйелерді ұзақ мерзімді біріктіру жасыл сутегі өндірісінің шығындарын 80 %-ға төмендетуге әкелуі мүмкін.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл мақала жоспарлы – нысаналы қаржыландыру жобасы (BR21882415) негізінде әзірленді.

Қорытынды

Бұл жұмыс қол жетімді су электролизінің технологияларын жан-жақты шолуды қамтамасыз етті. Протон, сілтілі және анион су электролизерінің катализаторлық материалдары зерттелді. Протон алмасу мембранасы су электролизі сутегінің және оттегінің бөлу реакциясында электрлік катализаторларында жоғары ұяшық тиімділігін алу үшін әлі де әртүрлі кедергілер бар. Протон алмасу мембранасы электролизеріне арналған ең танымал сутегіні бөлу электрлік катализатор материалдары платина (Pt) негізіндегі катализаторлар болып табылады, бірақ практикалық протон алмасу мембранасы электролизерін қолдану мақсаттарына жету үшін белсенділік пен жоғары өнімділікке көбірек күш салуды қажет етеді. Сонымен қатар, оттегіні бөлу реакциясы электрлік катализаторлары негізінен төмен белсенділікпен және жоғары тұрақтылықпен IrO₂ пайдаланылады. Сондықтан, оттегіні

бөлу реакциясының электрлік катализаторлары протон алмасу мембранасы электролизерінің белсенділігін арттыру үшін көбірек назар аударуды қажет етеді. Сондай-ақ, протон алмасу мембранасы электролизі жоғары ток тығыздығын, ұзақ жұмыс уақытын және төмен кернеулерде жоғары энергия тиімділігін қажет етеді. Белсендірек катализаторларды таңдау аса маңызды емес шикізатты пайдалану және жұқа мембраналарды пайдалану сияқты сілтілі, протон алмасу мембранасы және анион алмасу мембранасы электролизердің тиімділігін арттыру үшін қиындықтарды қарастыру қажет болады. Сілтілі су электролизеріне кіріс қуатының ауытқуы электролизердің өнімділігін төмендетеді. Катализатордың деградациясы іске қосу және өшіру операцияларында кері ток тудырған сілтінің негізгі мәселесі болып табылады.

Сонымен қатар, мембраналық электродтар жинағының физикалық дамуы электр химиялық сипаттамалар мен термиялық тұрақтылықты арттырады. Түсті металл катализаторын пайдалану жүйенің жұмыс сапасын төмендетуі мүмкін, бірақ анион алмасу мембранасы өнімділігі әлі де төмен және оны кең ауқымды сутегі өндірісінде қолдану үшін арттыру қажет. Дегенмен, протон алмасу мембранасы электролизерінің құны сілтіліге қарағанда әлі де жоғары және экономикалық шығындарды төмендету мәселелері бар. Анион алмасу мембранасы технологиясы бойынша сутегі өндірісі арзанырақ материалды пайдалана алады. Анион алмасу мембранасы технологиясы протон алмасу мембранасы технологиясымен салыстырғанда шығындарды азайту әлеуетіне ие. протон алмасу мембранасы электролизер қабатының өнімділігін мембрана қалыңдығын азайту, катализатормен қапталған электродтарды қайта жобалау және арзан катализатор материалдарын пайдалану арқылы да арттыруға болады. Ақырында, анион алмасу мембранасы болып табылады және иондық өткізгіштік анион алмасу мембранасы өнімділігінде маңызды рөл атқарады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Jun Chi, Yu Hongmei** Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. Chinese Journal of Catalysis, – 2018. – P. 390–394. – [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62949-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62949-8)

2 **Balat, M.**, Potential important of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems. International Journal of Hydrogen Energy, – 2008. – P. 4013–4029. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.047>

3 **Xiao, L., Wu, S. Y., Li, Y. R.** Advances in solar hydrogen production via two-step watersplitting thermochemical cycles based on metal redox reactions. Renewable Energy, - 2012. – P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.023>

4 **Steinfeld, A.** Solar thermochemical production of hydrogen – a review. Solar Energy, – 2005. – P. 603–615. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.012>

5 **Bessarabov, D., Wang, H., Li, H., Zhao, N.** PEM Electrolysis for Hydrogen Production: Principles and Applications, CRC press, 2016. https://books.google.kz/books?hl=ru&lr=&id=BNuYCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=aGFMZGDb6h&sig=lQzh0goTpC1y7olcaLSicSYBmxw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

6 IRENA, Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolyzers to Meet the 1.50C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.

7 **Millet, P., Ngameni, R., Grigoriev, S.A., Mbemba, N., Brisset, F., Ranjbari, A., Etiévant, C.** PEM water electrolyzers: from electrocatalysis to stack development. International Journal of Hydrogen Energy, – 2010. – P. 5043–5052. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.015>

8 Hino, R., Haga, K., Aita, H., Sekita, K. R&D on hydrogen production by high- temperature electrolysis of steam, Nuclear Engineering and Design, – 2004. – P. 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2004.08.029>

9 **Pavel, C. C., Cecconi, F., Emiliani, C., Santiccioli, S., Scaffidi, A., Catanorchi, S., Commotti, M.** Highly efficient platinum group metal free based membrane-electrode assembly for anion exchange membrane water electrolysis. Angewandte Chemie International Edition, – 2014. – P. 1378–1381. <https://doi.org/10.1002/anie.201308099>

10 **Yoo, S., Kim, Y., Yoon, Y., Karuppannan, M., Kwon, O.J., Lim, T.** Encapsulation of Pt nanocatalyst with N-containing carbon layer for improving catalytic activity and stability in the hydrogen evolution reaction. International Journal of Hydrogen Energy, – 2021. – P. 21454–21461. – <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.225>

17.10.24 ж. баспаға түсті.

17.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Г. К. Сыдыкова¹, Ж. Т. Жунисов², И. Б. Култан³,
И. А. Утемуратова⁴, З. Р. Кудайберген⁵
^{1,2,3,4,5}Кызылординский университет имени Коркыт Ата,
Республика Казахстан, г. Кызылорда
Поступило в редакцию 17.10.24
Поступило с исправлениями 17.10.24
Принято в печать 04.12.24

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗЕЛЕННОГО ВОДОРОДА

В качестве источника энергии водород определяется как оптимальный способ снижения воздействия на климат путем интеграции возобновляемой электроэнергии с системами электролиза воды. Технология протонно-обменной мембраны (ПАМ) привлекает значительное внимание благодаря своей способности эффективно производить высокочистый водород, снижая сложности, связанные с обработкой и техническим обслуживанием. Щелочной электролиз, являясь другой технологией производства водорода, широко используется в этой области. Технология анионно-обменной мембраны (ААМ) может производить водород с относительно низкими затратами, так как драгоценные металл-катализаторы, используемые в системах ПАМ и щелочного электролиза, заменяются обычными дешевыми электрическими катализаторами. Технология твердооксидных электролизных элементов обеспечивает производство водорода с относительно высокой эффективностью преобразования, низкой ценой и низкими выбросами. Однако метод твердооксидного электролиза требует высокой рабочей температуры, что приводит к длительному времени запуска. В данной статье рассматривается текущее состояние технологий, способных использовать воду в электролизных системах. Предлагается интегрированный системный подход для удовлетворения потребностей в энергии и чистой воде путем объединения возобновляемой электроэнергии, электролиза воды и топливных элементов.

Ключевые слова: водород, парниковые газы, электролиз воды, электрический катализатор.

*G. K. Sydykova¹, Zh. T. Zhunusov², I. B. Kultan³, I. A. Utemuratova⁴,
Z. R. Kudaybergen⁵
^{1,2,3,4,5}Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda
Received 17.10.24
Received in revised form 17.10.24
Accepted for publication 04.12.24

APPLICATION OF WATER ELECTROLYSIS TECHNOLOGIES FOR OBTAINING GREEN HYDROGEN

As an energy source, hydrogen is identified as an optimal way to reduce climate impact by integrating renewable electricity with water electrolysis systems. Proton exchange membrane (PEM) technology attracts significant attention due to its ability to efficiently produce high-purity hydrogen while reducing the complexities associated with processing and maintenance. Alkaline electrolysis, another hydrogen production technology, is widely used in this area. Anion exchange membrane (AAM) technology can produce hydrogen at relatively low costs, as the precious metal catalysts used in PEM and alkaline electrolysis systems are replaced with ordinary, inexpensive electric catalysts. Solid oxide electrolyzer cell technology provides hydrogen production with relatively high conversion efficiency, low cost, and low emissions. However, the solid oxide electrolysis method requires high operating temperatures, leading to long startup times. This article reviews the current state of technologies capable of utilizing water in electrolysis systems. An integrated system approach is proposed to meet the needs for energy and clean water by combining renewable electricity, water electrolysis, and fuel cells.

Keywords: hydrogen, greenhouse gases, water electrolysis, electric catalyst.

<https://doi.org/10.48081/HRSB4057>

***А. К. Танкибаева¹, И. Г. Казанцев², С. К. Кумаргажанова³,
А. С. Тлебалдинова⁴, Ж. К. Азаматова⁵**

^{1,3,4,5}Восточно-Казахстанский технический университет

имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

²Институт вычислительной математики и математической геофизики

Сибирского отделения Российской академии наук,

Российская Федерация, г. Новосибирск

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6053-4775>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8479-7349>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1271-0352>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6214-9913>

*e-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru

ОБЗОР МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ НЕОДНОРОДНОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье рассматриваются современные методы коррекции неоднородности интенсивности, возникающей в процессе магнитно-резонансной визуализации. Неоднородность интенсивности, вызванная различными факторами, значительно усложняет автоматический анализ магнитно-резонансных изображений (МР-изображений). В работе представлены наиболее популярные математические модели, используемые для коррекции данного артефакта, такие как низкочастотная модель, модель гиперповерхности и статистическая модель. Проведен сравнительный анализ этих методов с учетом их эффективности и вычислительной сложности. Полученные результаты могут быть использованы для разработки более точных и надежных методов компьютерной диагностики на основе МР-изображений.

В связи с частым применением метода магнитно-резонансной томографии для клинической диагностики, значительное внимание уделяется автоматическому анализу полученных изображений с использованием методов компьютерного зрения и распознавания

образов. При разработке таких инструментов компьютерной диагностики часто встречающейся проблемой является коррекция неоднородности интенсивности на МР-изображениях.

Неоднородность интенсивности возникает в результате влияния таких факторов как неравномерное статическое магнитное поле, вихревой ток, образованный градиентным полем, и неравномерная чувствительность приемной катушки. Данное явление часто называется артефактом МР-изображения, а также известно как поле смещения. Поле смещения представляет собой низкочастотный, гладкий сигнал, который оказывает деструктивное воздействие на МР-изображения и является основным препятствием для обработки изображений и дальнейшей компьютерной диагностики. Для того чтобы исправить поля смещения на МР-изображении необходимо выполнить этап предварительной обработки, в результате которого будет выполнена коррекция неоднородности интенсивности изображения.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, неоднородность интенсивности, сегментация, поле смещения.

Введение

В связи с частым применением метода магнитно-резонансной томографии для клинической диагностики, значительное внимание уделяется автоматическому анализу полученных изображений с использованием методов компьютерного зрения и распознавания образов. При разработке таких инструментов компьютерной диагностики часто встречающейся проблемой является коррекция неоднородности интенсивности на магнитно-резонансных изображениях.

Целью исследования является проведение обзора и анализа современных методов коррекции неоднородности интенсивности магнитно-резонансных изображений (МР-изображений) для повышения качества автоматического анализа медицинских данных в контексте компьютерной диагностики.

Научная новизна исследования заключается в систематизации и сравнительном анализе различных подходов к математическому моделированию и устранению неоднородности интенсивности МР-изображений, с акцентом на их интеграцию в комплексные системы компьютерной диагностики, что позволит улучшить точность и надежность сегментации и регистрации изображений.

Неоднородность интенсивности, также известная как поле смещения или усиления, обычно описывает медленные неанатомические изменения интенсивности в пределах одной и той же ткани на изображении. Такие

искажения могут быть вызваны особенностями работы визуализационного оборудования, например, неоднородностью радиочастотного или статического поля, а также движением пациента во время съемки. Этот артефакт особенно заметен на МР-изображениях, полученных с помощью поверхностных катушек. Два реальных МР-изображения с тяжелым артефактом неоднородности интенсивности показаны на рисунке 1 (а), где видно, что для пикселей одной и той же ткани интенсивность значительно различается, а между пикселями разных тканей значения интенсивности заметно перекрываются. Для сравнения на рис. 1(б) приведены изображения с неоднородностью интенсивности, скорректированной методом аппроксимации поверхности [1, с. 153-165], на которых хорошо видно улучшение качества изображения. Расчетные карты неоднородностей интенсивности приведены на рисунке 1(с).

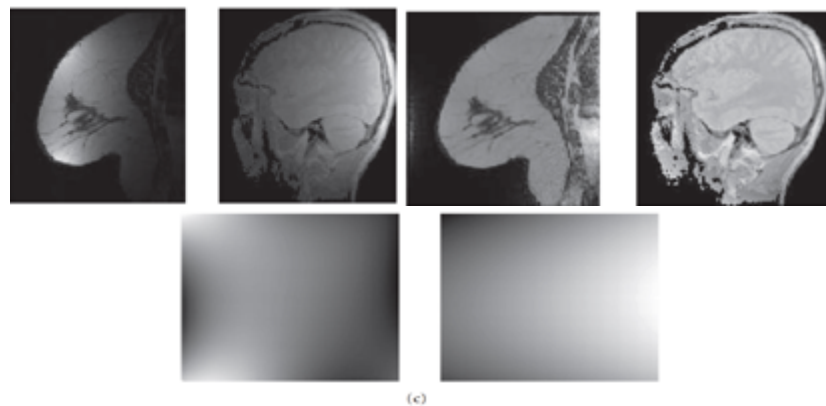


Рисунок 1 – Примеры МР-изображений с серьезной неоднородностью интенсивности: исходные изображения (а), скорректированные изображения (б) и расчетные карты неоднородности (с).

Пусть x обозначает измеренную интенсивность, а x' – истинную интенсивность. Тогда наиболее популярной моделью для описания эффекта неоднородности интенсивности является

$$x = \alpha x' + \xi, \quad (1)$$

где α обозначает эффект неоднородности интенсивности, а ξ – шум.

На рисунке 2 представлены широко используемые МР-изображения, смоделированные с помощью BrainWeb. Изображение 2(а) демонстрирует

исходное изображение, изображение 2(б) – с артефактом неоднородности интенсивности, изображение 2(с) – с шумом, а изображение 2(д) – с сочетанием артефакта неоднородности интенсивности и шума. Эти примеры позволяют увидеть визуальные различия, вызванные влиянием неоднородности интенсивности и шумов. Чтобы упростить вычисления, часто пренебрегают шумом и применяют логарифмическое преобразование интенсивности [2, с.1–11]

$$y_i = \log x_i = \log x'_i + \log \alpha_i = y'_i + \beta_i, \quad (2)$$

где x_i обозначает интенсивность в вокселе i ($i = 1, \dots, n$). Чтобы избежать числовых ошибок, необходимо обратить внимание на воксели или пиксели с низкими значениями интенсивности, которые обычно исключаются из расчетов [2, с.1-11].

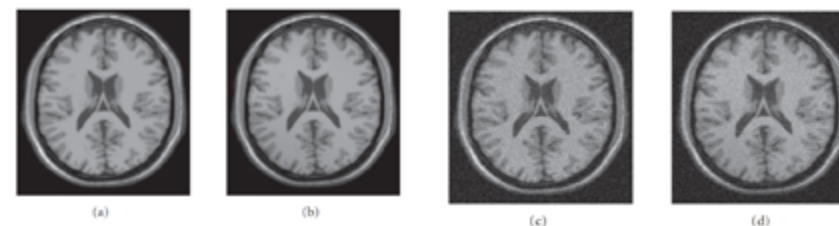


Рисунок 2. Изображения, полученные при помощи BrainWeb: (а) исходное изображение, (б) изображение с 40 %-ной неоднородностью, (с) изображение с 9 %-ным шумом и (д) изображение с обоими артефактами [2, с.1-11].

Материалы и методы

Неоднородность интенсивности может значительно ухудшить точность сегментации и регистрации изображений, что в свою очередь снижает достоверность последующих количественных измерений. Для решения этой проблемы разработан ряд методов. Если карта неоднородности интенсивности на изображении (например, рисунок 1(с)) известна или ее можно оценить, то исправление этой неоднородности можно выполнить с помощью деления (1) или вычитания в логарифмической области (2).

Чаще всего карта неоднородности интенсивности получается ретроспективно только на основе данных изображения. В этом направлении было предпринято множество исследований и предложено множество

методов. Популярные математические модели описания неоднородностей интенсивности можно классифицировать следующим образом:

1) низкочастотная модель, которая предполагает, что неоднородность интенсивности представляет собой низкочастотные компоненты в частотной области, а карта неоднородности интенсивности может быть восстановлена с помощью фильтрации нижних частот;

2) модель гиперповерхности, аппроксимирующая карту неоднородности интенсивности гладким функционалом, параметры которого обычно получают с помощью регрессии;

3) статистическая модель, которая предполагает, что неоднородность интенсивности является случайной величиной или случайным процессом, а карта неоднородности интенсивности может быть получена путем статистической оценки;

4) другие модели, в основе которых лежат другие принципы, в некоторых случаях, не предполагающих наличия поля неоднородности интенсивности.

Таким образом, методы коррекции неоднородности интенсивности можно разделить на фильтрацию нижних частот, статистическое моделирование, аппроксимацию поверхности и другие.

В более ранних обзорах по данному направлению [3, с.1655-1666] сообщается об оценке эффекта коррекции неоднородности интенсивности при сегментации опухоли головного мозга. В данной статье предпринята попытка обобщить имеющуюся информацию, и основное внимание будет уделено математическому моделированию устранения неоднородности интенсивности. Тем не менее, это ни в коем случае не исчерпывающее изложение.

Поскольку неоднородность интенсивности медленно меняется в области изображения, ее спектр в частотной области будет сосредоточен в низкочастотной области. Таким образом, для того, чтобы отделить истинное изображение от неоднородности интенсивности, необходимо применить фильтр нижних частот L . После применения низкочастотного фильтра в логарифмической области можно получить приблизительно следующее [2, с.1-11]:

$$L\{y\} \approx \beta. \quad (3)$$

Данная процедура коррекции неоднородности яркости схожа с фильтрацией, применяемой для цифровой обработки изображений с целью коррекции неоднородности освещенности [2;4]. По сути, выражение (1) напоминает модель освещения и отражения в оптических изображениях [2;4], в которой артефакт неоднородности освещения часто называют «затенением» [2, с.1-11]. Следовательно, методы, используемые для коррекции затенения,

такие как гомоморфная фильтрация, могут быть адаптированы для устранения неоднородности интенсивности, и наоборот. Исследование применения методов коррекции неоднородности интенсивности для решения проблемы затенения на микроскопических изображениях было проведено в [5, с.212–223].

Благодаря простоте и эффективности реализации методы фильтрации нижних частот получили широкое распространение [4;5;6]. В работе [7, с.161-171] было проведено исследование влияния ширины фильтра на коррекцию неоднородности интенсивности. В ходе исследования было установлено, что данные методы необходимо применять с осторожностью, чтобы не возникло искажений интенсивности и искусственных артефактов в изображениях, которые были скорректированы.

Недавно методы фильтрации нижних частот были расширены с использованием вейвлет-преобразования [8;9] и показали свою эффективность в устранении неоднородности интенсивности в изображениях, полученных с помощью поверхностных катушек и катушек с фазовой решеткой.

В исследовании [10, с.133-144] было представлено усовершенствование метода фильтрации нижних частот [6, с.204-211]. Данный метод корректирует размер ядра фильтра, для минимизации ошибки сегментации. В общем, идея схожа с подходами, описанными в [8;9] касательно коррекции неоднородности интенсивности с использованием масштабного пространства, однако, отличается по критерию выбора оптимального масштаба.

Результаты и обсуждение

Многие методы коррекции неоднородности интенсивности тесно связывают эту задачу с сегментацией изображения, решая обе эти проблемы поочередно с помощью итерационного процесса. Очевидным является тот факт, что точная сегментация значительно упростила бы процесс коррекции неоднородности интенсивности. В то же время, можно утверждать, что если неоднородность интенсивности устранена наиболее точно, то и качество сегментации также улучшится. Поэтому неудивительно, что существует множество подходов, которые решают обе задачи в единой структуре.

У многих пользователей, в свою очередь возникают вопросы, касающиеся эффективности метода и как можно его оценить, и при этом, какой метод предпочтительно применить для использования в практических системах обработки медицинских изображений, или существует ли метод, значительно превосходящий все остальные. Для того чтобы дать ответы на все эти вопросы нужно провести масштабные сравнения на различных наборах данных. В связи с тем, что истинное значение неоднородности поля смещения реальных данных неизвестна, это представляет большую сложность. Одной из распространенных проблем при оценке алгоритмов

компьютерного зрения является недостаток точной информации. Для решения данной проблемы существуют два возможных пути решения. Стремиться к «золотому стандарту», опираясь на экспертные оценки, – один из них, и может оказаться трудоемким процессом.

В отличие от большого количества методов коррекции неоднородности интенсивности, сравнительных исследований существующих алгоритмов было проведено довольно мало. Sled и соавт. [11, с.459–464] выполнили сравнение трех методов коррекции: максимизации ожидания (EM), белого вещества (WM) и метода N3, используя смоделированные данные, взвешенные по T1, T2 и PD [2, с.1-11].

Было установлено, что по сравнению с другими методами для объемов, взвешенных по T1, метод WM показывает лучшие результаты. Вероятно, это связано с высоким контрастом между белым веществом (WM) и другими тканями на таких изображениях [2, с.1–11]. Метод EM вносит слишком большие коррективы для вокселей, не соответствующих модели классификации тканей, что согласуется с выводами, представленными в [12, с.429–442]. В целом, метод N3 демонстрировал наибольшую стабильность для всех исследованных смоделированных изображений.

В исследовании [3, с.212–223] Velthuizen и соавторы провели оценку четырех методов коррекции неоднородности интенсивности при сегментации опухолей головного мозга. Эти методы включали фантомный метод, два метода низкочастотной фильтрации и метод подгонки поверхности с опорными точками, выбранными из белого вещества. Результаты показали, что метод подгонки поверхности уступает остальным, что, вероятно, связано с особенностями выбора опорных точек. Как уже упоминалось, этот аспект критичен для эффективности метода подгонки поверхности. В работе [13, с.760–771] был представлен автоматизированный метод создания таких опорных точек. Кроме того, Z. Nou и S. Huang [14, с.1–10] разработали схожий метод, основанный на статистике порядка, который демонстрирует результаты, сопоставимые с современными методами коррекции неоднородности интенсивности.

Более глубокое исследование было проведено в [15, с.931-943]. В ходе данного исследования сравнивались шесть алгоритмов, которые включают в себя n3, hum, eq, bfc, spm (статистическое параметрическое отображение) и ста5. Данные алгоритмы сравнивались с данными, которые были получены с помощью BrainWeb, а также и с реальными объемами, включая повторные сканирования одного и того же объекта, сканирования в разных магнитных полях и с использованием различных сканеров. В основе методов hum, eq и ста лежит фильтрация низких частот [2, с.1–11]. Метод spm использует аппроксимацию поверхности, при этом его параметры

определяются интеграцией с моделью смеси тканей. Было обнаружено, что карты неоднородности интенсивности, полученные методами фильтрации, могут демонстрировать более высокочастотные структуры, относящиеся к анатомии мозга.

Метод spm может быть нестабильным при работе с относительно однородными объемами изображений и может привести к ложному решению для некоторого объема. В целом методы n3 и bfc превосходят остальные четыре метода. При низких уровнях смещения метод bfc показывает более точные результаты по сравнению с n3, тогда как при высоких уровнях смещения ситуация меняется, и n3 становится более эффективным. Но, несмотря на это, ни один из шести методов не демонстрирует идеальных результатов во всех рассмотренных условиях.

Wells и соавт. [12, с. 429-442] описали метод, проблема которого аналогична проблеме метода spm. В обоих методах применяется смешанный гауссов классификатор, точность которого может быть недостаточной для точного моделирования распределения интенсивности изображений, наблюдаемых на практике. В свою очередь, три метода, основанные на фильтрации, не имеют механизма адаптации мощности фильтрации к качеству данных, что позволяет объяснить их меньшую эффективность по сравнению с методами n3 и bfc.

Несмотря на то, что требуется больше сравнительных исследований с использованием более широкого спектра МР-изображений, конечным пользователям не следует ожидать, что один алгоритм будет непревзойденным и универсально применимым. В целом, у каждого из методов есть основные предположения и ограничения, и также выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи, источника данных и их качества. Хотя сложные методы могут обеспечивать более точную коррекцию неоднородности интенсивности, важно учитывать также вычислительные затраты и итоговую ошибку сегментации. Метод n3 широко используется в общедоступных программах и зарекомендовал себя как эффективный, тогда как метод bfc может быть особенно полезен, когда изображения подвержены значительному шуму [14, с.1-10].

Информация о финансировании (при наличии)

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научных и (или) научно-технических проектов на 2024–2026 годы Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP23486396 «Модели и методы распознавания анатомических структур на изображениях МРТ в задачах компьютерной диагностики»).

Выводы

В результате проведенного исследования были обобщены современные подходы к коррекции неоднородности интенсивности на МР-изображениях. Было установлено, что методы фильтрации, несмотря на их простоту и распространенность, могут быть менее эффективными по сравнению с более сложными моделями, такими как подгонка поверхности и статистические методы, особенно в контексте интеграции с задачами сегментации и регистрации изображений. Полученные результаты подчеркивают необходимость выбора метода коррекции, исходя из специфики решаемой задачи и характеристик исходных данных.

В данной статье представлен краткий обзор последних достижений в области коррекции неоднородности интенсивности МР-изображений. Наиболее популярными моделями для описания поля неоднородностей интенсивности являются низкочастотная, гиперповерхностная и статистическая модель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Styner, M., Brechbuhler, C., Szekely, G., Gerig, G.** Parametric estimate of intensity inhomogeneities applied to MRI, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 19, no. 3, 2009. – pp.153–165.

2 **Zujun Hou.** A Review on MR Image Intensity Inhomogeneity Correction. Hindawi Publishing Corporation, *International Journal of Biomedical Imaging*, Volume 2006, Article ID 49515, Pages 1–11, DOI 10.1155/IJBI/2006/49515.

3 **Velthuizen, R. P., Cantor, A. B., Lin, H., Fletcher, L. M., Clarke, L. P.** Review and evaluation of MRI nonuniformity corrections for brain tumor response measurements, *Medical Physics*, ol. 25, No. 9, 2008. – P 1655–1666.

4 **Gonzalez, R. C., Woods, R. E.** *Digital Image Processing*, Pearson, NY, 2018.

5 **Tomazevic, D., Likar, B., Pernus, F.** Comparative evaluation of retrospective shading correction methods, *Journal of Microscopy*, vol. 208, No. 3, 2002. – P. 212–223.

6 **Cohen, M. S., Dubois, R. M., Zeineh, M. M.** Rapid and effective correction of RF inhomogeneity for high field magnetic resonance imaging, *Human Brain Mapping*, vol. 10, No. 4, 2009. – P. 204–211.

7 **Brinkmann, B. H., Manduca, A., Robb, R. A.** Optimized homomorphic unsharp masking for MR grayscale inhomogeneity correction, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 17, No. 2, 2018. – P. 161–171.

8 **Han, C., Hatsukami, T. S., Yuan, C.** A multi-scale method for automatic correction of intensity non-uniformity in MR images, *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 13, No. 3, 2010. – P. 428–436.

9 **Lin, F., Chen, Y., Belliveau, J. W., Wald, L. L.** A waveletbased approximation of surface coil sensitivity profiles for correction of image intensity inhomogeneity and parallel imaging reconstruction, *Human Brain Mapping*, vol. 19, No. 2, 2003. – P. 96–111.

10 **Gispert, J. D., Reig, S., Pascau, J., Vaquero, J. J., Garcia-Barreno, P., Desco, M.** Method for bias field correction of brain T1-weighted magnetic resonance images minimizing segmentation error, *Human Brain Mapping*, vol. 22, No. 2, 2014. – P. 133–144.

11 **Sled, J. G., Zijdenbos, A. P., Evans, A. C.** A comparison of retrospective intensity non-uniformity correction methods for MRI, in *Proceedings of the 15th International Conference in Information Processing in Medical Imaging*, Vol. 1230 of *Lecture Notes in Computer Science*, Poultney, Vt, USA, 2017. – P. 459–464.

12 **Wells, W. M., Gimson, W. E. L., Kikinis, R., Jolesz, F. A.** Adaptive segmentation of MRI data, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 15, No. 4, 2016. – P. 429–442.

13 **Wang, D., Rose, S. E., Chalk, J. B., Doddrell, D. M., Semple, J.** Improved version of white matter method for correction of non-uniform intensity in MR images: application to the quantification of rates of brain atrophy in Alzheimer's disease and normal aging, in *Proceedings of Medical Imaging 2000: Image Processing*, Vol. 3979 of *Proceedings of SPIE*, San Diego, Calif, USA, 2009. – P. 760–771.

14 **Hou, Z., Huang, S.** Preliminary segmentation based on order statistics for intensity inhomogeneity correction in brain MR images, *Technique Report*, Singapore Bioimaging Consortium, Singapore, 2008.

15 **Arnold, J. B., Liow, J., Schaper, K. A. et al.** Qualitative and quantitative evaluation of six algorithms for correcting intensity nonuniformity effects, *NeuroImage*, Vol. 13, No. 5, 2011. – P. 931–943.

Поступило в редакцию 19.09.24

Поступило с исправлениями 17.10.24

Принято в печать 04.12.24

А. К. Танкибаева¹, И. Г. Казанцев², С. К. Кумаргажанова³,
А. С. Тлебалдинова⁴, Ж. К. Азаматова⁵
^{1,3,4,5}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.
²Есептік математика және математикалық геофизика институты,
Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі,
Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.
19.09.24 ж. баспаға түсті.
17.10.24 ж. түзетулерімен түсті.
04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

МАГНИТТИК-РЕЗОНАНСТЫҚ БЕЙНЕЛЕРДІҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫНЫҢ БІРКЕЛКІ ЕМЕСТІГІН ТҮЗЕТУ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

Мақалада магниттік-резонанстық бейнелеу процесінде пайда болатын қарқындылықтың гетерогенділігін түзетудің заманауи әдістері қарастырылады. Әр түрлі факторлардан туындаған қарқындылықтың гетерогенділігі МР-кескіндерін автоматты түрде талдауды едәуір қиындатады. Жұмыста берілген артефактіні түзету үшін қолданылатын ең танымал математикалық модельдер ұсынылған, атап айтқанда, төмен жиілікті модель, гипербет моделі және статистикалық модель. Бұл әдістердің тиімділігі мен есептеу күрделілігін ескере отырып, салыстырмалы талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер МР-кескіндеріне негізделген компьютерлік диагностиканың дәлірек және сенімді әдістерін әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Клиникалық диагностика үшін магнитті-резонанстық томографияның жиі қолданылуына байланысты, компьютерлік көру және үлгіні тану әдістерін қолдану арқылы алынған кескіндерді автоматты талдауға көп көңіл бөлінеді. Мұндай компьютерлік диагностикалық құралдарды жасауда жиі кездесетін мәселе МР кескіндеріндегі қарқындылықтың біркелкі еместігін түзету болып табылады.

Интенсивтіліктің біртектілігінің бұзылуы статикалық магнит өрісінің біркелкі болмауы, градиенттік өріс тудыратын құйынды токтар және қабылдаушы катушканың сезімталдығының біркелкі еместігі сияқты факторлардың әсерінен пайда болады. Бұл құбылыс көбінесе МР-кескінінің артефакті немесе ауытқы өрісі деп аталады. Ауытқы өрісі – төмен жиілікті, тегіс сигнал ол МР-кескіндерге теріс әсер етеді және бейнелерді өңдеуге, сондай-ақ кейінгі компьютерлік

диагностикаға кедергі келтіретін маңызды фактор болып табылады. МР-кескіндердегі ауытқы өрістерін түзету үшін алдын ала өңдеу кезеңі қажет, бұл кезеңде суреттегі интенсивтіліктің біртектілігі түзетіледі.

Кілттік сөздер: магнитті-резонансты бейнелеу, қарқындылықтың гетерогенділігі, сегментация, ауытқы өрісі.

*А. К. Tankibayeva¹, I.G. Kazantsev², S. K. Kumargazhanova³,
A. S. Tlebaldinova⁴, Zh. K. Azamatova⁵

^{1,3,4,5}D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk
²Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Russian Federation, Novosibirsk
Received 19.09.24
Received in revised form 17.10.24
Accepted for publication 04.12.24

REVIEW OF METHODS FOR CORRECTING INHOMOGENEITY IN MAGNET RESONANCE IMAGING INTENSITY

The article discusses current methods for correcting intensity inhomogeneity occurring during magnetic resonance imaging. Intensity inhomogeneity, caused by various factors, significantly complicates the automatic analysis of MRI images. The paper presents the most popular mathematical models used for correcting the artifact, such as the low-frequency model, the hypersurface model, and the statistical model. A comparative analysis of these methods has been conducted, taking into account their effectiveness and computational complexity. The obtained results can be used to develop more accurate and reliable methods for computer-aided diagnosis based on MRI images.

Due to the frequent use of magnetic resonance imaging for clinical diagnosis, considerable attention is paid to the automatic analysis of the acquired images using computer vision and pattern recognition methods. In the development of such computer-aided diagnostic tools, a frequent problem is the correction of intensity heterogeneity (IH) in MR images.

Intensity inhomogeneity arises from factors such as uneven static magnetic fields, eddy currents induced by gradient fields, and non-uniform sensitivity of the receiving coil. This phenomenon is often referred to as an

MRI artifact, also known as a bias field. A bias field is a low-frequency, smooth signal that negatively impacts MRI images and poses a significant obstacle to image processing and subsequent computer-aided diagnosis. To correct bias fields in MRI images, a preprocessing step is required, during which the intensity inhomogeneity is adjusted.

Keywords: magnetic resonance imaging, intensity inhomogeneity, segmentation, bias field.

МРНТИ 44.31.35

<https://doi.org/10.48081/RLNT9009>

***Г. Ж. Тасболат¹, А. Ш. Алимгазин², А. Н. Бергузинов³**

^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

³Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3790-2097>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5848-1842>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

*e-mail: galymzhan_zh@mail.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ВИЭ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В условиях глобальных изменений климата и растущих требований к энергоэффективности, технологии тепловых насосов и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становятся ключевыми компонентами систем автономного теплоснабжения. Автономное теплоснабжение представляет собой систему, способную обеспечить тепло и горячую воду в зданиях или на территории без зависимости от центральных источников теплоснабжения. Основные принципы автономного теплоснабжения основаны на интеграции различных технологий для эффективного производства, распределения и хранения тепловой энергии. Тепловые насосы (ТН) и возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как солнечные коллекторы и ветрогенераторы, представляют собой перспективные технологии для автономного отопления. Эти технологии позволяют значительно сократить потребление ископаемого топлива, уменьшить углеродный след и обеспечить стабильное и эффективное теплоснабжение. Тем не менее, их внедрение требует комплексного подхода к проектированию и интеграции, что делает необходимым детальное изучение и моделирование этих систем. В данной статье представлены результаты исследования применения тепловых насосов и ВИЭ в автономных системах отопления с использованием методов компьютерного моделирования. Оценены различные сценарии

интеграции, проведен анализ их эффективности и предложены рекомендации для оптимизации таких систем.

Ключевые слова: Тепловые насосы, возобновляемые источники энергии, компьютерное моделирование, автономное теплоснабжение, энергоэффективность.

Введение

В условиях глобального изменения климата и нарастающих проблем с устойчивостью энергоснабжения, вопрос повышения энергоэффективности и переход на экологически чистые источники энергии становятся крайне актуальными. Системы автономного теплоснабжения, использующие традиционные источники энергии, часто сталкиваются с проблемами высокой энергетической зависимости и значительными углеродными выбросами. В связи с этим возникает необходимость поиска и внедрения инновационных решений, способных снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить энергоэффективность [1, с.76–83].

Компьютерное моделирование представляет собой мощный инструмент для анализа и оптимизации систем отопления. Оно позволяет учитывать множество факторов, таких как климатические условия, сезонные колебания температуры, потребление энергии и производственные возможности ВИЭ. С помощью моделирования можно выявить оптимальные сценарии для интеграции различных компонентов системы, предсказать их поведение в реальных условиях и оценить эффективность предлагаемых решений [2, с.101–112].

Актуальность данного исследования определяется несколькими ключевыми факторами:

- Рост интереса к энергоэффективным технологиям: В условиях глобальных климатических изменений и перехода на устойчивое развитие, необходимость в энергоэффективных системах отопления становится все более очевидной.

- Необходимость оптимизации систем автономного теплоснабжения: Учитывая возросшие требования к снижению выбросов и увеличению энергоэффективности, необходимо проводить детальное моделирование и оптимизацию систем, чтобы гарантировать их максимальную эффективность и экономическую целесообразность.

- Развитие технологий и доступность данных: Современные программные средства и вычислительные мощности позволяют проводить сложные модели и симуляции, что открывает новые возможности для исследования и разработки инновационных решений в области отопления.

- Проблемы в реальных условиях эксплуатации: Практическое внедрение технологий ТН и ВИЭ часто сталкивается с проблемами, которые можно эффективно решить с помощью предварительного моделирования и анализа.

Таким образом, исследование применения тепловых насосов и ВИЭ в системах автономного теплоснабжения с использованием компьютерного моделирования имеет высокую практическую и научную значимость. Оно позволяет разработать обоснованные рекомендации по оптимизации таких систем, что способствует их более широкому внедрению и улучшению энергоэффективности в различных климатических зонах и условиях эксплуатации [3, с.10-12].

Целью данного исследования является разработка и оптимизация моделей автономных систем теплоснабжения с использованием тепловых насосов и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), основанных на компьютерном моделировании. Исследование направлено на повышение энергоэффективности и устойчивости таких систем, а также на минимизацию их экологического воздействия.

Создание пилотного энергоэффективного дома с минимальными выбросами парниковых газов использованием различных возобновляемых источников энергии (теплота грунтовых вод, солнечная энергия и т.д.) при модернизации системы энергообеспечения здания Учебно-оздоровительного центра (УОЦ) «Тумар» площадью 1330 м².

Для проведения компьютерного моделирования выбраны следующие программные инструменты:

EnergyPlus: Программное обеспечение для энергетического моделирования зданий, позволяющее учитывать теплопередачу, отопление и охлаждение.

TRNSYS: Система для динамического моделирования и анализа тепловых систем, которая поддерживает интеграцию с солнечными коллекторными системами и тепловыми насосами.

MATLAB/Simulink: Для проведения дополнительных расчетов и анализа данных, а также для разработки алгоритмов управления.

Пакет проектирования пассивного дома (PHPP): Пакет проектирования пассивного дома (PHPP, Passive House Planning Package) – это специализированное программное обеспечение, разработанное для проектирования зданий по стандартам пассивного дома. Оно помогает архитекторам, инженерам и строителям оценивать энергоэффективность зданий и оптимизировать их характеристики [4, с.45-62].

Объект исследования: Модель автономной системы отопления учебно-оздоровительного центра (УОЦ) «Тумар» площадью 1330 м².

Материалы и методы

Компьютерное моделирование энергоэффективных решений в области автономного теплоснабжения с использованием тепловых насосов и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволяет оптимизировать проектирование и эксплуатацию систем. В данном разделе рассматриваются используемые материалы и методы.

Тепловые насосы: Используются тепловые насосы различного типа-«вода-вода», «воздух-вода», «грунт-вода». Для моделирования выбираются конкретные модели, подходящие для климатических условий региона.

ВИЭ: Рассматриваются солнечные панели (фотоэлектрические и солнечные коллекторы) и ветряные турбины. Для каждого источника выбираются характеристики, включая мощность и коэффициент полезного действия.

Программное обеспечение для моделирования:

EnergyPlus: Моделирование энергопотребления зданий и систем отопления.

MATLAB/Simulink: Моделирование динамических процессов и управления системами.

TRNSYS: Моделирование систем теплоснабжения с учетом ВИЭ.

Пакет проектирования пассивного дома (PHPP): Пакет проектирования пассивного дома (PHPP, Passive House Planning Package)

Данные для моделирования:

Климатические данные (температура, скорость ветра, солнечная радиация) получаются из метеорологических станций и климатических баз данных.

Данные о потреблении энергии (тепловые нагрузки зданий) собираются на основе ранее проведенных расчетов или исследований.

Метод компьютерного моделирования:

Создание трехмерных моделей зданий и систем отопления в программном обеспечении.

Настройка параметров тепловых насосов и ВИЭ с учетом местных условий.

Симуляция работы системы: Запуск модели для оценки работы системы в различных климатических условиях и режимах нагрузки.

Проведение сценарного анализа для выявления оптимальных сочетаний тепловых насосов и ВИЭ.

Использование алгоритмов оптимизации (например, генетические алгоритмы или метод градиентного спуска) для нахождения наилучших параметров системы, включая мощность насосов, размеры солнечных панелей и ветряных турбин.

Сравнение различных конфигураций системы по параметрам: экономичность, эффективность, углеродный след.

Использование графиков и таблиц для визуализации данных о производительности систем.

Сравнение с экспериментальными данными: Полученные результаты сравниваются с данными, полученными из реальных систем для проверки точности модели.

Чувствительный анализ: Оценка влияния изменений ключевых параметров (например, температуры окружающей среды, цен на энергоресурсы) на производительность системы.

Использование тепловых насосов и ВИЭ в компьютерном моделировании автономного теплоснабжения позволяет находить оптимальные решения для повышения энергоэффективности. Применяемые материалы и методы обеспечивают высокую точность и надежность получаемых результатов.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная часть работы демонстрирует, что использование тепловых насосов в сочетании с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные коллекторы и ветрогенераторы, может значительно повысить эффективность автономного теплоснабжения. Интеграция ВИЭ позволяет сократить потребление традиционных источников энергии, улучшить экономические показатели и снизить воздействие на окружающую среду. На основе проведенного моделирования можно сделать выводы о лучших конфигурациях систем и предложить рекомендации по их оптимизации для достижения максимальной эффективности и устойчивости.

1 Энергетическая эффективность: Сравнение производительности систем: Результаты моделирования показали, что интеграция солнечных коллекторов и ветрогенераторов значительно увеличивает эффективность системы автономного теплоснабжения по сравнению с базовой конфигурацией, использующей только тепловые насосы. В частности, солнечные коллекторы увеличивают долю возобновляемой энергии, поступающей в систему, на 20-30%, в зависимости от солнечной радиации и площади коллекторов. Ветрогенераторы способствуют дополнительному увеличению эффективности на 10-15%, особенно в регионах с высоким уровнем ветров.

Изменение потребления энергии: Моделирование показало, что комбинация тепловых насосов и ВИЭ позволяет значительно снизить общее потребление энергии от традиционных источников. Это особенно заметно в зимние месяцы, когда тепловые насосы работают в режиме отопления, а солнечные коллекторы и ветрогенераторы могут компенсировать часть потребления.

Эффективность систем хранения: Включение аккумуляторов и термальных накопителей в модель помогает нивелировать колебания в производстве энергии от ВИЭ. Аккумуляторы обеспечивают стабильное энергоснабжение в периоды низкой активности солнечных коллекторов и ветрогенераторов, а термальные накопители помогают удерживать тепло для последующего использования.

2 Экономическая оценка: Капитальные затраты: Первоначальные инвестиции в систему, включающую тепловые насосы и ВИЭ, значительно выше, чем у традиционной системы отопления. Однако, затраты на установку солнечных коллекторов и ветрогенераторов могут быть компенсированы за счет снижения эксплуатационных затрат и экономии на потреблении энергии [5, с.205–214].

Эксплуатационные затраты: Операционные расходы, включая обслуживание и эксплуатацию, также снижаются благодаря использованию ВИЭ. Моделирование показало, что с учётом стоимости электроэнергии и стоимости обслуживания, интеграция ВИЭ может обеспечить возврат инвестиций в пределах 5-7 лет.

Возврат инвестиций: Анализ возврата инвестиций (ROI) показал, что, хотя начальные затраты высоки, система с ВИЭ позволяет получить экономическую выгоду в долгосрочной перспективе. Ожидаемый срок окупаемости системы составляет 5-8 лет, в зависимости от конкретных условий эксплуатации и тарифов на энергию.

3 Влияние на окружающую среду: Снижение выбросов : Интеграция ВИЭ в систему автономного теплоснабжения позволяет существенно сократить выбросы углерода в атмосферу. Моделирование показало, что использование солнечных и ветряных источников может снизить углеродный след системы на 40-60 % [6, с.9-12].

Стабильность и устойчивость: Системы с ВИЭ демонстрируют лучшую устойчивость к изменениям внешних условий и колебаниям цен на традиционные источники энергии. Это делает систему более надежной и устойчивой к изменениям на рынке энергетических ресурсов.

На основе проведенного моделирования и анализа результатов можно сделать следующие рекомендации:

1. Оптимизированная конфигурация: сочетание технологий: объединяйте солнечные коллекторы, ветровые турбины и тепловые насосы для достижения наилучших результатов. Рекомендуется использовать солнечные коллекторы в районах с сильным солнечным излучением, а ветровые турбины — в ветреных районах.

Интеграция накопителей: добавление аккумуляторов и тепловых накопителей в систему может повысить стабильность и надежность

электроснабжения, особенно в периоды снижения активности возобновляемых источников энергии.

2 Экономическая стратегия: планирование инвестиций: перед принятием решения о внедрении возобновляемых источников энергии рекомендуется провести подробный анализ затрат на установку и эксплуатацию. Финансовые планы должны учитывать не только первоначальные инвестиции, но и долгосрочные эксплуатационные расходы и экономию энергии.

Государственные субсидии и гранты: установка возобновляемых источников энергии с использованием государственных субсидий и грантов может значительно снизить первоначальные затраты и ускорить окупаемость инвестиций.

3 Энергоэффективность и устойчивость: мониторинг и контроль: постоянный мониторинг и эффективное управление производительностью системы помогают оптимизировать производительность системы и повысить общую эффективность. Дополнительная экономия энергии может быть достигнута с помощью интеллектуальных систем управления.

Гибкость: системы должны быть гибкими и способными адаптироваться к изменениям энергопотребления, климатических условий и цен на энергоносители.

Сравнение с экспериментальными данными: моделирование выполняется на основе предполагаемых данных и условий. Для проверки точности модели использовались имеющиеся экспериментальные данные о работе реальных систем отопления с тепловыми насосами и возобновляемыми источниками энергии. Результаты моделирования сравнивались с реальными проектными данными для оценки надежности и точности полученных результатов.

Анализ отклонений: оценка отклонения между смоделированными и экспериментальными данными. Выделяются различия в температуре, энергопотреблении и производительности оборудования. Найденные отклонения анализируются для понимания их причин и возможных путей улучшения модели.

Корректировка модели: на основе дисперсионного анализа модель корректируется для улучшения ее соответствия реальным условиям. Это включает в себя корректировку параметров модели и обновление данных о климатических условиях и характеристиках оборудования.

Интерпретация результатов

1. Сравнительный анализ конфигураций:

Настройте солнечные коллекторы. Использование солнечных коллекторов может значительно улучшить производительность вашей системы в солнечные дни, особенно весной и летом. Однако зимой, когда солнечное излучение ниже, эффективность может снизиться. Конфигурация

ветровых турбин: Ветровые турбины обеспечивают дополнительную выработку электроэнергии, особенно в районах с постоянными ветрами. Наиболее эффективные результаты достигаются при сочетании ветровых турбин и солнечных коллекторов.

Гибридная система: Сочетание солнечных коллекторов и ветровых турбин показывает наилучшие результаты с точки зрения энергоэффективности и снижения традиционного потребления энергии. Такая конфигурация позволяет использовать преимущества обеих технологий и минимизировать их недостатки.

2 Экономические причины:

Возврат инвестиций: Модели показывают, что системы, использующие комбинацию возобновляемых источников энергии, имеют более длительный срок окупаемости, чем системы, использующие только традиционные источники энергии. Однако экономические выгоды увеличиваются в течение срока службы системы.

Экономия эксплуатационных расходов: интеграция возобновляемых источников энергии может значительно снизить затраты на энергию. Моделирование подтвердило, что со временем экономия энергии превысила первоначальные затраты на установку и обслуживание.

3. Воздействие на окружающую среду:

Сокращение выбросов углекислого газа: интеграция возобновляемых источников энергии значительно снижает выбросы CO₂. На основании результатов моделирования было установлено, что использование возобновляемых источников энергии может снизить углеродный след системы на 50-70 % в зависимости от конфигурации и климатических условий [7; 8].

Перспективные направления для дальнейших исследований

1. Глубокое моделирование:

Расширение модели: Модель необходимо расширить, чтобы учесть другие факторы, такие как изменение климатических условий, сезонные изменения и влияние различных типов возобновляемых источников энергии. Рассмотрение более подробных данных может повысить точность моделирования и прогнозирования.

Моделирование других типов возобновляемой энергии: изучение возможности интеграции других возобновляемых источников энергии, таких как биомасса или геотермальная энергия, и их влияние на эффективность системы.

2 Инновационные технологии: разработка новых технологий: исследование и внедрение новых технологий хранения энергии, таких как усовершенствованные батареи и тепловые накопители, могут улучшить производительность системы и сократить расходы.

Интеллектуальные системы управления: разработка и тестирование интеллектуальных систем управления, которые могут оптимизировать производительность системы на основе реальных условий и прогнозов.

3 Экономическое и экологическое моделирование: долгосрочные экономические исследования: проведение дополнительных исследований для оценки долгосрочных экономических и социальных выгод возобновляемых систем отопления.

Оценка жизненного цикла: изучение полного жизненного цикла системы, включая производство, установку, эксплуатацию и утилизацию оборудования, для оценки общей нагрузки на окружающую среду и воздействия.

4 Полевые испытания и экспериментальные исследования:

Полевая валидация: проведение полевых испытаний для проверки точности модели и оценки фактической производительности системы в различных условиях.

Сбор данных. Сбор реальных данных от возобновляемых систем отопления, работающих в различных климатических условиях и условиях эксплуатации, для улучшения моделей и составления более точных прогнозов.

Результаты моделирования дают следующие ключевые выводы:

Эффективность тепловых насосов: Геотермальные тепловые насосы продемонстрировали наибольшую эффективность по сравнению с воздушными и водяными насосами, обеспечивая стабильную работу при различных климатических условиях и снижая потребление электроэнергии на 40-50 %.

Роль ВИЭ: Интеграция солнечных коллекторов и ветрогенераторов значительно уменьшает потребность в внешнем источнике энергии, позволяя покрывать до 60% потребностей системы в теплоснабжении при оптимальных условиях. Солнечные коллекторы оказываются более эффективными в регионах с высокой солнечной радиацией, тогда как ветрогенераторы – в ветреных областях.

Системы хранения: Наличие систем хранения энергии позволяет сглаживать колебания производства и потребления энергии, увеличивая общую эффективность системы. Наиболее эффективными оказались комбинации батарей с термальными аккумуляторами.

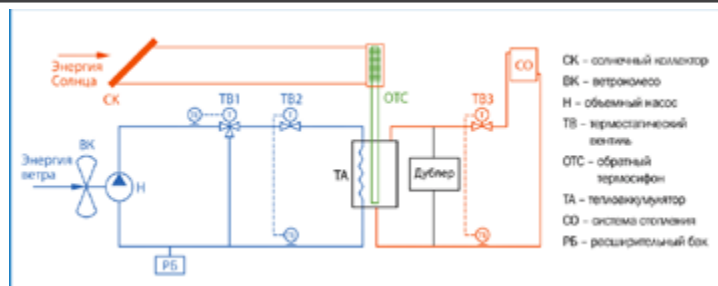


Рисунок 1– Схема интеграции теплового насоса и ВИЭ в систему автономного теплоснабжения

Экономическая оценка

Для оценки экономической целесообразности предложенных решений был проведен анализ затрат и выгод, включающий:

Капитальные затраты на установку ТН и ВИЭ

Операционные расходы, включая затраты на обслуживание и энергоресурсы

Потенциальную экономию на энергоносителях и снижение углеродных выбросов

Анализ показал, что начальные инвестиции в системы ТН и ВИЭ могут быть компенсированы в течение 5-7 лет за счет снижения эксплуатационных расходов и экономии на энергии. В долгосрочной перспективе такие системы не только оказывают положительное влияние на окружающую среду, но и становятся экономически выгодными [9, с.149-159].

Компьютерное моделирование подтвердило, что интеграция тепловых насосов и ВИЭ представляет собой эффективное решение для автономного теплоснабжения. Результаты исследования показывают, что такие системы могут значительно улучшить энергоэффективность и снизить экологическое воздействие, обеспечивая надежное и устойчивое теплоснабжение. Для достижения наилучших результатов необходимо учитывать местные климатические условия, особенности эксплуатации и правильно подбирать компоненты системы.

Будущие исследования могут быть направлены на расширение модели для учета более сложных условий эксплуатации, таких как изменение климата и адаптация систем к изменяющимся потребностям. Также важно изучить влияние новых технологий и материалов на эффективность и экономическую целесообразность интеграции ВИЭ и ТН [10].

Выводы. Разработка и оптимизация модели автономного теплоснабжения являются важными процессами для создания эффективных и устойчивых

систем отопления. Они включают в себя комплексные этапы, от определения требований и проектирования до интеграции, калибровки и оптимизации системы. Использование современных методов моделирования и оптимизации позволяет обеспечить надежную работу системы, минимизировать затраты и повысить её энергоэффективность. Постоянное обновление и улучшение модели на основе новых данных и технологий способствует достижению наилучших результатов и устойчивости системы в условиях изменяющихся требований и условий эксплуатации.

Экспериментальная часть работы продемонстрировала, что компьютерное моделирование является эффективным инструментом для оценки и оптимизации систем автономного теплоснабжения с использованием тепловых насосов и ВИЭ. Результаты показали значительное улучшение энергетической эффективности, снижение эксплуатационных затрат и снижение воздействия на окружающую среду. На основе проведенного анализа можно сделать выводы о целесообразности использования интегрированных решений для автономного теплоснабжения и предложить рекомендации для их дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Накоряков, В. Е., Елистратов, С. Л.** Экологические аспекты применения парокомпрессионных тепловых насосов // Изв. РАН. Энергетика, 2011. - №4. – С.76–83
- 2 **Hughes, J. D.** «Thermal Performance of Heat Pumps in Varied Climatic Conditions.» Energy Reports, 2019. – № 5, P. 101–112
- 3 **Сагадиев, Н.Т.** Исследование теплообменного аппарата на основе математической модели в среде Simulink // ТОО «Verbulak». Инженерно-технический электронный журнал «Вестник автоматизации». – Алматы, 2019. – С.10–12
- 4 **Miller, S., et al.** «Modeling and Simulation of Renewable Energy Systems.» Computational Energy Science, 2018. – №12(3), P. 45–62
- 5 **Wang, H., Li, W.** «Economic Analysis of Renewable Heating Technologies.» Energy Economics, 2022. – №95, P. 205–214
- 6 **Буров, В. Д, Дудолин, А. А., Олейникова, Е. Н.** Анализ режимов работы ПГУ-ТЭЦ с ТНУ // Материалы VII региональной научно-технической конференции (с международным участием) «Энергия – 2012». Т.1. Иваново ИГЭУ. – 2012. – С.9–12
- 7 **Александров, А. А.** Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. – М. : Издательство МЭИ. – 2011.

8 **Андрющенко, А. И., Аминов, Р. З., Хлебалин, Ю. М.** Теплофикационные установки и их использование. – М. : Высшая школа, –2013.

9 **Алимгазин, А. Ш., Петин, Ю. М., Султангузин, И. А., Бергузинов, А. Н., Омаров, Ж. М.** Анализ возможностей применения тепловых насосов с использованием геотермальной теплоты артезианских скважин для автономного теплоснабжения объектов в Павлодарской области // Вестник КГЭУ. Том 12, №4 (48), – 2020. – С.149–159

10 **Алимгазин, А. Ш., Омаров, К. С., Тасболат, Г. Ж., Талтенов, А. А., и др.** Теплонасосная установка для отопления и горячего водоснабжения // Патент РК №9033 на полезную модель. – БИ №16 от 19.04.2024 г., Регистр. номер 2024/0210.2 от 14 февраля 2024 г. в РГКП «Национальный институт интеллектуальной собственности» МЮ РК.

REFERENCES

1 **Nakoryakov, V. E., Elistratov, S. L.** Ekologicheskie aspekty primeneniya parokompressionnyh teplovyh nasosov [Environmental aspects of the use of steam compression heat pumps] // Izv. RAS. Energy, 2011. – №4. – P. 76–83

2 **Hughes, J. D.** «Thermal Performance of Heat Pumps in Varied Climatic Conditions.» Energy Reports, 2019. – №5, P.101–112

3 **Sagadiev, N. T.** Issledovanie teploobmennogo apparata na osnove matematicheskoy modeli v srede Simulink [Investigation of a heat exchanger based on a mathematical model in a Simulink environment] // TOO «Verbulak». Inzhenerno-tehnicheskij elektronnyj zhurnal «Vestnik avtomatizacii». – Almaty, 2019, – P.10–12

4 **Miller, S., et al.** «Modeling and Simulation of Renewable Energy Systems.» Computational Energy Science, 2018. – №12(3), P.45–62

5 **Wang, H., Li, W.** «Economic Analysis of Renewable Heating Technologies.» Energy Economics, 2022. – №95, P.205–214

6 **Burov, V. D., Dudolin, A. A., Olejnikova, E. N.** Analiz rezhimov raboty PGU-TEC s TNU [Analysis of the operating modes of CCGP-TPP with HPU] // Materialy VII regional'noj nauchno-tehnicheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem) «Energiya – 2012». T.1. Ivanovo IGEU. – 2012. – P. 9–12

7 **Aleksandrov, A. A.** Termodinamicheskie osnovy ciklov teploenergeticheskikh ustanovok [Thermodynamic bases of cycles of thermal power plants]. – М. :Izdatel'stvo MEI. – 2011.

8 **Andryushchenko, A. I., Aminov, R. Z., Hlebalin, YU. M.** Teplofikacionnye ustanovki i ih ispol'zovanie [Heating installations and their use]. – М. :Vysshaya shkola, –2013.

9 **Alimgazin, A. Sh., Petin, YU. M., Sultanguzin, I. A., Berguzinov, A. N., Omarov, Zh. M.** Analiz vozmozhnostej primeneniya teplovyh nasosov s ispol'zovaniem geotermal'noj teploty artezijskikh skvazhin dlya avtonomnogo teplosnabzheniya ob'ektov v Pavlodarskoj oblasti [Analysis of the possibilities of using heat pumps using geothermal heat from artesian wells for autonomous heat supply of facilities in the Pavlodar region] // Vestnik KGEU. Tom 12, №4 (48), – 2020. – С.149–159

10 **Alimgazin, A. Sh., Omarov, K. S., Tasbolat, G. Zh., Taltenov, A. A., i dr.** Teplonasosnaya ustanovka dlya otopeniya i goryachego vodosnabzheniya [Heat pump installation for heating and hot water supply] // Patent RK №9033 na poleznuyu model'. – БИ №16 от 19.04.2024 г., Registr. nomer 2024/0210.2 от 14 fevralya 2024. v RGKP «Nacional'nyj institut intellektual'noj sobstvennosti» MYU RK.

Поступило в редакцию 09.10.24

Поступило с исправлениями 08.11.24

Принято в печать 04.12.24

**Ф. Ж. Тасболат¹, А. Ш. Алимгазин², А. Н. Бергузинов³*

^{1,2}Д. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. 09.10.24 ж. баспаға түсті.

08.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭНЕРГИЯ ТИІМДІ ШЕШІМДЕРДІ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ: АВТОНОМДЫ ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУДЫ ЖАҚСARTУ ҮШІН ЖЫЛУ СОРҒЫЛАРЫ МЕН ЖЭК ПАЙДАЛАНУ

Жаһандық климаттың өзгеруі және энергия тиімділігінің артуы жағдайында жылу сорғылары мен жаңартылатын энергия (ЖЭК) технологиялары автономды жылумен жабдықтау жүйелерінің негізгі құрамдас бөліктеріне айнауда. Автономды жылумен жабдықтау- бұл орталық жылу көздеріне тәуелді емес ғимараттарда немесе аумақта жылу мен ыстық суды қамтамасыз етуге қабілетті жүйе. Автономды жылумен жабдықтаудың негізгі принциптері жылу энергиясын тиімді өндіру, тарату және сақтау үшін

әртүрлі технологияларды біріктіруге негізделген. Жылу сорғылары (ЖС) және қуаң коллекторлары мен жел генераторлары сияқты жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) автономды жылытудың перспективасын ұсынады. Бұл технологиялар қазба отындарын тұтынуды едәуір азайтуға, көміртегі ізін азайтуға және тұрақты және тиімді жылумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Дегенмен, оларды енгізу дизайн мен интеграцияға кеішенді көзқарасты қажет етеді, бұл осы жүйелерді егжей-тегжейлі зерттеу мен модельдеуді қажет етеді. Бұл мақалада компьютерлік модельдеу әдістерін қолдана отырып, автономды жылыту жүйелерінде жылу сорғылары мен ЖЭК қолдану бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Интеграцияның әртүрлі сценарийлері бағаланды, олардың тиімділігіне талдау жасалды және осындай жүйелерді оңтайландыру бойынша ұсыныстар ұсынылды.

Кілтті сөздер: Жылу сорғысы, жаңартылатын энергия көздері, компьютерлік модельдеу, автономды жылумен жабдықтау, энергия тиімділігі.

*G. Zh. Tasbolat¹, A. Sh. Alimgazin², A. N. Berguzinov³

^{1,2}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana

³Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

COMPUTER MODELING OF ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS: USE OF HEAT PUMPS AND RES TO IMPROVE AUTONOMOUS HEAT SUPPLY

In the context of global climate change and increasing energy efficiency requirements, heat pump and renewable energy (RES) technologies are becoming key components of autonomous heat supply systems. Autonomous heat supply is a system capable of providing heat and hot water in buildings or on the territory without dependence on central sources of heat supply. The basic principles of autonomous heat supply are based on the integration of various technologies for efficient production, distribution and storage of thermal energy. Heat pumps (HP) and renewable energy sources (RES), such as solar collectors and wind turbines, represent promising technologies for autonomous heating. These technologies can significantly reduce the consumption of fossil fuels, reduce the carbon footprint and ensure a stable and efficient heat supply. However, their implementation requires an integrated approach

to design and integration, which makes it necessary to study and model these systems in detail. This article presents the results of a study of the use of heat pumps and renewable energy sources in autonomous heating systems using computer modeling methods. Various integration scenarios are evaluated, their effectiveness is analyzed, and recommendations for optimizing such systems are proposed.

Keywords: Heat pumps, renewable energy sources, computer modeling, autonomous heat supply, energy efficiency.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Ашимова Салтанат Жандарбековна, постдокторант, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Жол құрылыс материалдары және жаңа технологиялар бөлімі меңгерушісі, Абай университеті, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: s.ashimova@qazjolgi.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4070-6430>

Аджанов Айтуган Увлович, техника ғылымының кандидаты, аға оқытушысы, Энергетика факультеті, электр жабдықтарын пайдалану кафедрасы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.ajanov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3662-1833>

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, қауымд. профессордың міндетін атқарушысы, компьютерлік ғылымдар кафедрасы, меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akerkegansaj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Алимгазин Алтай Шурумбаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alimgazin_altai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5848-1842>

Авдеев Леонид Анатольевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: ugleservice@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4720-5823>

Абдлахатова Назым Шохадляқызы, магистр, аға оқытушы, «Энергетика» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdlakhatova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>

Азаматова Жанерке Кыдырбековна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanerkez@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6214-9913>

Ашимова Айгуль Кенжибаевна, «Электроэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика және машина жасау институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050000, Республика Казахстан, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-9036-0508>

Ахметжан Нұртілек Мартбекұлы, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша студент, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ahmenzhannurtilek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4164-7590>

Айтуғанова Айша Меңлібайқызы, педагогика ғылымдарының магистрі, Инженерлі-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mag_zhan97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8141-5157>

Асылбек Нұржан Нұрғалиұлы, «Жүйелік инженерия» мамандығы бойынша докторант, «Компьютерлік ғылымдар» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurzhan.asylbek@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-6244-1960>

Айтқалиева Гульзат, PhD, қауымд. профессор, Геология, мұнай және тау-кен ісі институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>

Бұйткенов Дастан Болатұлы, «Беттік инженерия және трибология» ғылыми зерттеу орталығының жетекші ғылыми қызметкері, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 070002, Қазақстан Республикасы, e-mail: Buitkenovd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0239-5849>

Бегалиева Сахыпжамал Тимерханқызы, Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, АҚ жетекші инженері, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: s.begalieva@qazjolgi.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9813-1323>

Бектасова Асемгуль Айтпаевна, «Электроэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика және машина жасау институты, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050000, Республика Казахстан, e-mail: Bektasova_aa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8888-8894>

Бондарцев Давид Юрьевич, PhD, профессор АЭЖБУ, ассоциированный профессор ВАК, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Энергетика және жасыл технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.bondartsev@aves.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8778-7851>

Бергузин Асхат Нұрланұлы, PhD, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

Батырбек Әлібек Есімбекұлы, «Автоматтандыру және басқару» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: alibek_batyrbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3369-6804>

Бейсова Карина Сағынбековна, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша магистрант, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.beisova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5744-3868>

Байжуманов Садуакас Дулатович, аға оқытушысы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: b_saduakas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-3697>

Бидахметов Ақылжан, 3 курс, «IT технология» кафедрасы, докторант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: akylzhan.bidakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5507-5765>

Байболов Олжас Бауыржанович, Магистрант, электроника және астрофизика кафедрасы, физика техникалық факультет, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., 050038, Қазақстан Республикасы, e-mail: baibolov_olzhas2@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-7802-9577>

Болатбек Асхат, Докторант, электроника және астрофизика кафедрасы, физика техникалық факультет, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., 050038, Қазақстан Республикасы, e-mail: bolatbekaskhat98@gmail.com, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0004-7613-5507>

Бекбаева Роза Серикжановна, техника ғылымдарының кандидаты, «IT технология» кафедрасының меңгерушісі, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: 31-roza@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3218-4591>

Войткевич Софья Валентиновна, PhD, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: sofiya_v@kstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3468>

Генбач Александр Алексеевич, техникалық ғылым докторы, профессор ВАК, Ғ. Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Энергетика және жасыл технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-3819-4387>

Генбач Наталья Алексеевна, доцент АЭЖБУ, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Электр тізбектері және электр энергетикалық жүйелер институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0005-9876-2736>

Генбач Екатерина Александровна, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Электр тізбектері және электр энергетикалық жүйелер институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: e.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0344-278X>

Герасименко Татьяна Сергеевна, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің аға оқытушысы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: melary-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5704-5419>

Горюнов Владимир Николаевич, техника ғылымдарының кандидаты, меңгеруші, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасы, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4707-2023>

Дюсова Ризагүл Мүсілімқызы, техника ғылымдарының кандидаты, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасы, постдокторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Доскужинов Ербол Тлекбаевич, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының магистранты, Инженерлік және сандық технологиялар факультеті, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bokakz1603@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9153-496X>

Есмаханова Лаура Нурлановна, PhD "Автоматтандыру және телекоммуникация" кафедрасы, Технологиялық факультет, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Ершов Эван Петрович, Бакалавр, физика техникалық факультет, электроника және астрофизика кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., 050047, Қазақстан Республикасы, e-mail: yershov_evan@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2267-0365>

Жүнісов Жандос Торғайбайұлы, «Электр энергетикасы (Жанартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда

қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: jandos.junusov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3934-5653>

Жүсіп Талғат Сембекулы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және машина жасау» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dzhusipov76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8131-2994>

Жанпейісова Айжан Орынбекқызы, аға оқытушысы, «Энергетика» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ayzhan.zhanpeisova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>

Жансерікқызы Ақнұр, техника ғылымдарының магистрі, Инженерлі-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanserikkyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6164-6775>

Жалмағамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, қауымд. профессоры, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Звонцов Алексей Сергеевич, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша аға оқытушысы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: trigal@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9708-5673>

Золотов Александр Дмитриевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент «IT технология» кафедрасы, доценті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: azol64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9751-8161>

Инсепов Дәурен Ғалымжанұлы, Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университетінің докторанты. Қ. И. Сәтбаева, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Insepov_dauren83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-4824>

Иванов Валерий Анатольевич, PhD, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: v.ivanov@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2811-7908>

Искаков Уалихан Кабибуллаевич, Инженер релейной защиты и автоматики, ЖШС «KAZ MINERALS» Ақтоғай, Ақтоғай қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: ualikhan88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6395-6067>

Исенов Сұлтанбек Сансызбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Энергетика факультетінің деканы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Энергетика факультеті,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, меңгерушісі Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Имангазинова Динара Кенжетаетна, «Электрэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinaraigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Қасенов Думан Асхатұлы, техника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dumankassenov98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5517-6832>

Кислов Александр Петрович, профессор кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайғыров университет, e-mail: kislovpsu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

Казацев Иван Гаврилович, физика-математика ғылымдарының докторы, Есептік математика және математикалық геофизика институтының жетекші ғылыми қызметкері, Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, Новосибирск қ., 630000, Ресей Федерациясы, e-mail: kazantsev.ivan6@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8479-7349>

Колесников Евгений Николаевич, PhD, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, постдокторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail jeka89_pvl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2334-5146>

Кумаргажанова Сауле Кумаргажановна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Цифрлық технологиялар және жасанды интеллект мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: skumargazhanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>

Кисманова Айгерим Абилқасимовна, техника ғылымдарының магистрі, Энергетика факультетінің, Электр жабдықтарын пайдалану кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kismanova08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6150-0517>

Құлтан Исламбек Берікұлы, техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық

институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: islambek.kultan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-0425>

Кудашева Алия Бакытжанқызы, «Жылуэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Ф. Даукеев атындағы «Алматы энергетика мен байланыс университеті», Жасыл технологиялар мен энергетика институты, Жану проблемалары институты, кіші ғылыми қызметкер, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kudasheva_ab@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3151-5813>

Касипхан Ақгул, PhD, агроэкологиялық орталықтың (зертхананың) меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.kasipkhan@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2342-8777>

Кириченко Лалита Николаевна, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, докторант, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Кишубаева Алтынай Тулпаровна, ақпараттық жүйелер магистрі, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, ақпараттық технологиялар факультеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Altynai_999@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>

Клецель Марк Яковлевич, техникалық ғылым докторы, профессор, Торайғыров университеті, Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: mkletsel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4000-8915>

Құдайберген Зұлқарнайын Русланұлы, білім алушы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kudaybergenzullarnay2007@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6234-0520>

Құттыбай Нұржігіт Бақытұлы, PhD, доцент м.а., әл Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, электроника және астрофизика кафедрасы, физика техникалық факультет, Алматы қ., 050038, Қазақстан Республикасы, e-mail: Nurjigit.10.93@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5723-6642>

Қошқарбай Нұрсұлтан Жалғасұлы, докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, электроника және астрофизика кафедрасы, физика техникалық факультет, Алматы қ., 050038, Қазақстан Республикасы, e-mail: Koshkarbay.n@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-2334-3249>

Қойшиев Темірхан Қосыбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Инженерлі-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: temirkhan.koishiyev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5320-6243>

Каверин Владимир Викторович, техника ғылымдарының кандидаты, профессордың міндетін атқарушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Новожилов Александр Николаевич, техника ғылымдарының докторы, «Электр энергетикасы» кафедрасы, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Новожилов Тимофей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасы, доценті, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Назымбек Сәтбек Бақытбекұлы, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша студент, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazymbeksatbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5039-2305>

Нұрмағанбетова Гүлім Сахитовна, PhD, қауымд. профессор міндетін атқарушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Энергетика факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Оспанов Ербол Амангазович, PhD философия докторы, қауымд. профессоры, «IT технология» кафедрасы Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: 78oea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

Оспанова Назира Нургазыевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ospanova.n@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

Орынбаев Сейтжан Ауесжанұлы, PhD, қауымдастырылған профессор, Басқарма Мүшесі – ғылым және цифрландыру жөніндегі проректор, «Энергетика» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: seitghan_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

Рахадиллов Бауыржан Қорабаевич, «Физика және технологиялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 070002, Қазақстан Республикасы, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, қауымд. профессор, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: di_lara83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2985-9498>

Риттер Дмитрий Викторович, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының профессоры, Инженерлік және сандық технологиялар факультеті, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>

Расмухаметова Айнур Серікқызы, PhD, ассоц. профессор, «Жаңғыртылатын және баламалы энергия көздері» кафедрасы, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.rasmukhametova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1376-6112>

Сағдолдина Жұлдыз Болатқызы, «Беттік инженерия және трибология» ғылыми зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 070002, Қазақстан Республикасы, e-mail: sagdoldina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

Сәрсікеев Ермек Жасланұлы, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, аға оқытушысы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Сағындық Әйгерім Бекенқызы, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Сыдыкова Гүлнар Құдайбергенқызы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sydykova77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

Сарсембиева Эльмира Кумалиевна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsembieva@list.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7078-4236>

Сивякова Галина Александровна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.sivyakova@ttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>

Сейтенова Гайни Жумағалиевна, химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, [0000-0001-6202-3951](https://orcid.org/0000-0001-6202-3951)

Танкибаева Акерке Кыдырбековна, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша докторант, Цифрлық технологиялар және жасанды интеллект мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6053-4775>

Тлебалдинова Айжан Солтанғалиевна, PhD, қауымд. профессор, Цифрлық технологиялар және жасанды интеллект мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1271-0352>

Торекбек Қуандық, «Энергиямен қамтамасыз ету және автоматтандыру» мамандығы бойынша докторант, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kuandyktorebek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3198-9806>

Тасболат Ғалымжан Жұмабекұлы, докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: galymzhan_zh@mail.ru, <https://orcid.org/00000002-3790-2097>

Телбаева Шынар Зарыкбековна, «Электр энергетикасы» білім беру бағдарламасының докторанты, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: tshz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6208-4113>

Төлепберген Адай Абайұлы, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша магистрант, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, г. Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: tolepbergenad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4757-9008>

Токжигитова Нургуль Каирбаевна, PhD, доцент, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurgul287@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

Тлешова Ақмарал Схановна, магистр, аға оқытушы, «Автоматтандыру және телекоммуникация» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmaral.tleshova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>

Талипов Олжас Манарбекұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультетінің деканы, Торайғыров университеті, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Утемуратова Индира Амангельдиевна, техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: shondr2207@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7170-3203>

Хазимов Марат Жәлелұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Ғ. Даукеев атындағы «Алматы энергетика мен байланыс университеті», Жасыл технологиялар мен энергетика институты, Жану проблемалары институты, жетекші ғылыми қызметкер, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mkhazimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>

Шакенов Қалижан Бақытжанұлы, PhD, қауымд. профессор, Энергетика және машина жасау институты, Энергетика кафедрасы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.shakenov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9722-1605>

Шакишева Карлыгаш Манасбековна, техника ғылымдарының магистрі, Энергетикалық факультеті, оқыту шебері «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: karligash-sh@mail.ru, 0009-0008-5515-963X

Шукаманов Жанибек Ерикович, аға оқытушысы, «Автоматтандыру және телекоммуникация» кафедрасы, Технологиялық факультет, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhe.shukamanov@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3017-7133>

Юсупова Асель Оразовна, PhD, қауым. профессоры, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ашимова Салтанат Жандарбековна, руководитель отдела Дорожно-строительных материалов и новых технологий, АО «Казахстанский дорожный научно- исследовательский институт», постдокторант «Abai University», г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: s.ashimova@gazjolgzi.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4070-6430>

Аджанов Айтуган Увлович, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра Эксплуатации электрооборудования, факультет энергетике, «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: a.adjanov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3662-1833>

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, и.о. асоц.профессора, заведующая кафедрой «Компьютерные науки», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akerkegansaj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Алимгазин Алтай Шурумбаевич, доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: alimgazin_altai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5848-1842>

Авдеев Леонид Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Факультет энергетике, автоматике и телекоммуникации, Карагандинский технический университет имени Абылкаса, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: ugleservice@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4720-5823>

Абдлахатова Назым Шохадляевна, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Энергетика», Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: abdlakhatova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>

Азаматова Жанерке Кыдырбековна, кандидат технических наук, асоц. профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: zhanerkez@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6214-9913>

Ашимова Айгуль Кенжибаевна, докторант, специальность «Электроэнергетика», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Институт Энергетике и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-9036-0508>

Ахметжан Нұртілек Мартбекұлы, студент, специальность «Автоматизация и управление», Евразийский национальный

университет имени Л. Н. Гумилева, Факультет информационных технологий, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: ahmenzhannurtilek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4164-7590>

Айтуганова Айша Менлибаевна, магистр педагогических наук, Инженерно-технологический институт, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: mag_zhan97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8141-5157>

Асылбек Нұржан Нұрғалиұлы, докторант, специальность «Системная инженерия», кафедра «Компьютерные науки», «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: nurzhan.asylbek@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-6244-1960>

Айткалиева Гульзат, PhD, асоц. профессор, Институт геологии, нефти и горного дела, Сатпаев университет, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: g.aitkaliyeva@satbaev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>

Буйткенов Дастан Болатұлы, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательский центр «Инженерия поверхности и трибология», Восточно Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан, e-mail: Buitkenovd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0239-5849>

Бегалиева Сахыпжамал Тимерхановна, ведущий инженер АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: s.begalieva@qazjolgzi.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9813-1323>

Бектасова Асемгуль Айтпаевна, докторант, специальность «Электроэнергетика», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Bektasova_aa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8888-8894>

Бондарцев Давид Юрьевич, PhD, профессор АУЭС, асоц. профессор ВАК, Алматинский Университет Энергетики и Связи им. Г. Даукеева, Институт энергетики и зеленых технологий, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: d.bondartsev@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8778-7851>

Бергузин Асхат Нурланович, PhD, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

Батырбек Әлібек Есімбекұлы, докторант по образовательной программе «Автоматизация и управление», Факультет энергетики, транспорта и систем управления, Карагандинский индустриальный

университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: alibek_batyrbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3369-6804>

Бейсова Карина Сагынбековна, магистрант, специальность «Автоматизация и управление», Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: k.beisova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5744-3868>

Байжуманов Садуакас Дулатович, ст. преподаватель, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: b_saduakas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-3697>

Бидахметов Ақылжан, докторант, 3 курс, кафедра «IT технологий», Университет имени Шакарима, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: akylzhan.bidakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5507-5765>

Байболов Олжас Бауыржанович, Магистрант, кафедра электроники и астрофизики, физико-технический факультет, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: baiybolov_olzhass2@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-7802-9577>

Болатбек Асхат, Докторант, кафедра электроники и астрофизики, физико-технический факультет, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: bolatbekaskhat98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7613-5507>

Бекбаева Роза Серикжановна, кандидат технических наук, Заведующий кафедра IT технология, Университет имени Шакарима г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: 31-roza@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3218-4591>

Войткевич Софья Валентиновна, PhD, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: sofiya_v@kstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3468>

Генбач Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор ВАК, Алматинский Университет Энергетики и Связи им. Г. Даукеева, Институт энергетики и зеленых технологий, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-3819-4387>

Генбач Наталья Алексеевна, доцент АУЭС, Алматинский Университет Энергетики и Связи им. Г. Даукеева, Институт электрических станций и электроэнергетических систем, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: n.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0005-9876-2736>

Генбач Екатерина Александровна, Алматинский Университет Энергетики и Связи им. Г. Даукеева, Институт электрических станций и

электроэнергетических систем, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: e.genbach@auces.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0344-278X>

Герасименко Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, ст. преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: melary-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5704-5419>

Горюнов Владимир Николаевич, доктор наук, профессор, Заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4707-2023>

Дюсова Ризагуль Муслимовна, кандидат технических наук, постдокторант кафедры «Механика и нефтегазовое дело», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Доскужинов Ербол Тлекбаевич, магистрант кафедры «Энергетика и радиоэлектроника», Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000,

Есмаханова Лаура Нурлановна, PhD, кафедра «Автоматизация и телекоммуникация» Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Ершов Эван Петрович, Бакалавр, физико-технический факультет, кафедра электроники и астрофизики, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050047, Республика Казахстан, e-mail: yershov_evan@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2267-0365>

Жунусов Жандос Торгайбаевич, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: jandos.junusov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3934-5653>

Жусип Талгат Сембекулы, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Механика и машиностроение», Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: dzhusipov76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8131-2994>

Жанпейісова Айжан Орынбековна, ст. преподаватель, Кафедра «Энергетика», Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: ayzhan.zhanpeisova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>

Жансериковна Акнур, магистр технических наук, Инженерно-технологический институт, Кызылординский университет имени Коркыт

Ата, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: zhanserikkyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6164-6775>

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, ассоц. профессор кафедры «Электротехники и автоматизации», Торайғыров университет, e-mail: ultuara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Звонцов Алексей Сергеевич, ст. преподаватель, специальность «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Факультет Энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: trigal@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9708-5673>

Золотов Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «IT технология», Университет имени Шакарима г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: azol64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9751-8161>

Инсепов Даурен Галимжанович, докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Inseпов_dauren83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-4824>

Иванов Валерий Анатольевич, доктор PhD, Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: v.ivanov@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2811-7908>

Искаков Уалихан Кабибуллаевич, Релелік қорғаныс және автоматика инженері, ТОО «KAZ MINERALS» Ақтоғай, п. Ақтоғай, Республика Казахстан, e-mail: ualikhan88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6395-6067>

Исенов Султанбек Сансызбаевич, Декан энергетического факультета, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), зав. кафедрой «Электротехники и Автоматизации» Факультета энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Имангазинова Динара Кенжетаевна, докторант по специальности «Электроэнергетика», Факультет Энергетика, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dinaraigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Касенов Думан Асхатулы, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: dumankassenov98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5517-6832>

Кислов Александр Петрович, профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: kislovpsu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

Казацев Иван Гаврилович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт вычислительной математики и математической геофизики, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск, 630000, Российская Федерация, e-mail: kazantsev.ivan6@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8479-7349>

Колесников Евгений Николаевич, PhD, Постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail jeka89_pvl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2334-5146>

Кумаргажанова Сауле Кумаргажановна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Школа цифровых технологий и искусственного интеллекта, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: skumargazhanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>

Кисманова Айгерим Абилкасимовна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра Эксплуатации электрооборудования, факультета энергетики, «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: kismanova08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6150-0517>

Култан Исламбек Берикович, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: islambek.kultan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-0425>

Кудашева Алия Бакытжанкызы, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Дукеева, Институт энергетики и зеленых технологий, Институт проблем горения, младший научный сотрудник, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: kudasheva_ab@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3151-5813>

Касипхан Акгул, PhD, заведующая Агроэкологическим центром (лаборатории), Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: a.kasipkhan@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2342-8777>

Кириченко Лалита Николаевна, докторант, Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Кишубаева Алтынай Тулпаровна, магистр информационных систем, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Факультет информационных технологий, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: Altynai_999@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>

Клецель Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mkletsel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4000-8915>

Кудайберген Зулхарнайын Русланулы, студент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: kudaybergenzulharnay2007@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6234-0520>

Құттыбай Нұржігіт Бақытұлы, И.о. доцент, PhD, физико-технический факультет, кафедра электроники и астрофизики, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: Nurjigit.10.93@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5723-6642>

Қошқарбай Нұрсұлтан Жалғасұлы, Докторант, физико-технический факультет, кафедра электроники и астрофизики, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: Koshkarbay.n@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-2334-3249>

Койшиев Темирхан Косыбаевич, доктор технических наук, профессор, Инженерно-технологический институт, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: temirkhan.koishiyev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5320-6243>

Каверин Владимир Викторович, Исполняющий обязанности профессора, кандидат технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Маулет Меруерт, ст. научный сотрудник Научно-исследовательский центр «Инженерия поверхности и трибология», Восточно Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан, e-mail: maulet_meruert@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1869-9705>

Малгожата Рудковска-Горчица, PhD, кафедра автомобилестроения, Факультет Машиностроительный, Вроцлавский научно-технический университет, г. Вроцлав, 50-370, Польша, e-mail: malgorzata.rutkowska-gorczyca@pwr.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2712-5914>

Мадениет Елубай, кандидат химических наук, Декан факультета естественных наук, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008,

Республика Казахстан, e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>

Мансуров Зулхаир Аймухаметович, доктор химических наук, профессор, Институт проблем горения, главный научный сотрудник, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: ZMansurov@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>

Мехтиев Али Джаванширович, ассоц. профессор, доцент Казахского агротехнического исследовательского университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: barton.kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

Макашев Ерлан Прмаганбетович, кандидат физико-математических наук, кафедра Компьютерные науки, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби», г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Makashev.Yerlan70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1698-3614>

Муратова Гульжан Клычовна, кандидат физико-математических наук, и.о. ассоц. профессор, кафедра Компьютерные науки, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mugk1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3018-4125>

Машрапова Ризагуль Мегданиятовна, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: rizka1504@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

Молдахметов Саят Сайранович, доцент, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>

Муханбеткалиева Айнур Канатовна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, кафедра «Космическая техника и технологии», Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: ainur-kanatm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5508-3331>

Мусагажинов Мадияр Жалелович, докторант Казахского агротехнического университета имени С Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: musagazhinov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4521-8172>

Новожилов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Новожилов Тимофей Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Назымбек Сәтбек Бақытбекұлы, студент, специальность «Автоматизация и управление», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Факультет информационных технологий, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: nazymbeksatbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5039-2305>

Нурмаганбетова Гулим Сахитовна, PhD, исполняющая обязанности ассоц. профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Оспанов Ербол Амангазович, PhD, ассоц. профессор, кафедра «IT технологии», Университет имени Шакарима г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: 78oea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

Оспанова Назира Нургазыевна, кандидат педагогических наук, доцент, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, Павлодар к., 140008, Республика Казахстан, e-mail: ospanova.n@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

Орынбаев Сейтжан Ауесжанович, PhD, ассоц. профессор, Член Правления – Проректор по науке и цифровизации, Кафедра «Энергетика», Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: seitzhan_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

Рахадиллов Бауыржан Корабаевич, ассоц. профессор, кафедра «Физика и технологии» Восточно Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail di_lara83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2985-9498>

Риттер Дмитрий Викторович, профессор, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-

Казахстанский университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>

Расмухаметова Айнур Сериковна, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Возобновляемых и альтернативных источников энергии», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.rasmukhametova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1376-6112>

Сагдолдина Жулдыз Болатгызы, ст. научный сотрудник Научно-исследовательский центр «Инженерия поверхности и трибология», Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан, e-mail: sagdoldina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

Сарсиев Ермек Жасланович, PhD, ст. преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sarsikejev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Сагындык Айгерим Бекенкызы, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна, Кандидат технических наук, ассоц. профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: sydykova77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

Сарсембиева Эльмира Кумалиевна, Магистр технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sarsembieva@list.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7078-4236>

Сивякова Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент, Факультет энергетики, транспорта и систем управления, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: g.sivyakova@ttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>

Сейтенова Гайни Жумагалиевна, кандидат химических наук, ассоц. профессор, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

Танкибаева Акерке Кыдырбековна, докторант, специальность «Информационные системы», Школа цифровых технологий и искусственного интеллекта, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.

Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6053-4775>

Тлебалдинова Айжан Солтангалиевна, PhD, ассоц. профессор, Школа цифровых технологий и искусственного интеллекта, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1271-0352>

Торбек Қуандық, докторант, специальность «Энергообеспечение и автоматизация», Энергетический факультет, «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: kuandyktorebek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3198-9806>

Тасболат Галымжан Жумабекович, докторант, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: galymzhan_zh@mail.ru, <https://orcid.org/00000002-3790-2097>

Телбаева Шынар Зарыкбековна, докторант образовательной программы «Электроэнергетика», Факультет энергетики, автоматизации и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: tshz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6208-4113>

Толепберген Адай Абаевич, магистрант, специальность «Информационные системы», Факультет Computer Science, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: tolepbbergenad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4757-9008>

Токжигитова Нургуль Каирбаевна, доктор PhD, доцент, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: nurgul287@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>,

Тлешова Акмарал Схановна, магистр, старший преподаватель, Кафедра «Автоматизация и телекоммуникация», Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: akmaral.tleshova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>

Талипов Олжас Манарбекович, Доктор PhD, ассоциированный профессор (доцент), декан факультета Энергетики, Торайғыров университет, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Утемуратова Индира Амангельдиевна, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: shondr2207@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7170-3203>

Хазимов Марат Жалелович, кандидат технических наук, профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Институт

энергетики и зеленых технологий, Институт проблем горения, ведущий научный сотрудник, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: mkhazimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>

Шакенов Калижан Бахытжанович, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Энергетика» КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: k.shakenov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9722-1605>

Шакишева Карлыгаш Манасбековна, Магистр технических наук, Энергетический факультет, мастер обучение «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: karligash-sh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5515-963X>

Шукманов Жанибек Ерикович, ст. преподаватель, кафедра «Автоматизация и телекоммуникация», Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: zhe.shukamanov@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3017-7133>

Юсупова Асель Оразовна, PhD, ассоц. профессор кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: Aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ashimova Saltanat Zhandarbekovna, Head of the Department of Road construction materials and new technologies, JSC «Kazakhstan Highway Research Institute», post-doctoral student at Abai University, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.ashimova@qazjolgzi.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4070-6430>

Ajanov Aitugan Uvlovovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Operation of Electrical Equipment, Faculty of Energy, "Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.adjanov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3662-1833>

Akanova Akerke Saparovna, PhD, Acting Associate Professor, Head of the Computer Science Department, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akerkegansaj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Alimgazin Altai Shurumbaevich, Doctor of Technical Science, professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008 Republic of Kazakhstan, e-mail: alimgazin_altai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5848-1842>

Avdeev Leonid Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, Faculty of power engineering, automation and telecommunications, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: ugleservice@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4720-5823>

Abdlakhatova Nazym Shokhadlyevna, Taraz University named after M. Kh. Dulaty, Department of Energy, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdlakhatova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>

Azamatova Zhanerke Kydyrbekovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhanerkeaz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6214-9913>

Ashimova Aigul, doctoral student in « Electric power industry», «Satbayev University » Institute of Energy and Mechanical Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-9036-0508>

Ahmetzhan Nurtilek Martbekuly, student in «Automation and control», Faculty of Information Technologies, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ahmenzhannurtilek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4164-7590>

Aituganova Aisha Menlibaikyzy, master's degree in pedagogical sciences, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University,

Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: mag_zhan97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8141-5157>

Assylbek Nurzhan Nurgaliuly, doctoral student in «Systems engineering», The Department of Computer Science, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurzhan.assylbek@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-6244-1960>

Aitkaliyeva Gulzat, PhD (Petrochemistry), Associate Professor, Institute of geology, oil and mining, Satbayev University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>

Buitkenov Dastan Bolatuly, Leading researcher of Scientific Research Center «Surface engineering and tribology», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan, e-mail: Buitkenovd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0239-5849>

Begalieva Sakhypzhamal Timerkhanovna, leading engineer of JSC Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.begalieva@qazjolgi.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9813-1323>

Bektassova Assemgul, doctoral student in « Electric power industry», «Satbayev University » Institute of Energy and Mechanical Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Bektassova_aa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8888-8894>

Bondartsev David Yu., PhD, professor of AUPET, Associate Professor HCC, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Institute of Energy and Green Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.bondartsev@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8778-7851>

Berguzinov Askhat Nurlanovich, PhD, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

Batyrbek Alibek Yessimbekuly, doctoral student in the educational program «Automation and management», Faculty of energy, transport and management systems, Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: alibek_batyrbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3369-6804>

Beisova Karina Sagynbekovna, magistral student in « Automation and management», Faculty of power engineering, automation and telecommunications, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.beisova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5744-3868>

Bayzhumanov Saduakas Dulatovich, senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: b_saduakas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5609-3697>

Bidakhmetov Akyzhan, 3rd year doctoral student of the Department of “IT Technologies”, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: akylzhan.bidakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5507-5765>

Baibolov Olzhas, Master's student, Faculty of Physics and Technology, department of electronics and astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: baibolov_olzhas2@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-7802-9577>

Bolatbek Askhat, doctoral student, Faculty of Physics and Technology, department of electronics and astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: bolatbekaskhat98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7613-5507>

Bekbayeva Roza, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department “IT technology”, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: 31-roza@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3218-4591>

Voitkevich Sofya Valentinovna, doctor of PhD, Faculty of power engineering, automation and telecommunications, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: sofiya_v@kstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3468>

Genbach Natalia A., associate professor of AUPET, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Institute of Electrical Stations and Electric Power Systems, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0005-9876-2736>

Genbach Ekaterina A., Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Institute of Electrical Stations and Electric Power Systems, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0002-0344-278X>

Genbach Alexander A., Doctor of technical sciences, professor of AUPET, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Institute of Energy and Green Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.genbach@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-3819-4387>

Gerassimenko Tatyana Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: melary-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5704-5419>

Goryunov Vladimir Nikolaevich, Head of the Department "Power Supply of Industrial Enterprises", Doctor of Sciences, Professor, Omsk State Technical

University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4707-2023>

Dyusova Rizagul Muslimovna, Candidate of Technical Sciences, Postdoctoral Researcher of the "Mechanics and Oil and Gas Engineering" Department, Toraygirov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: rizagul.dyusova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Doskuzhinov Erbol Tlekbaevich, Master's student of the Department of Power Engineering and Radioelectronics, Faculty of Engineering and Digital Technologies, North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokakz1603@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9153-496X>

Yesmakhanova Laura, PhD, Doctor of the Department of Automation and Telecommunications, Faculty of Technology, M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Yershov Evan, Bachelor, Faculty of Physics and Technology, department of electronics and astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050047, Republic of Kazakhstan, e-mail: yershov_evan@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2267-0365>

Zhunosov Zhandos Torgaibayevich, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: jandos.junosov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3934-5653>

Zhussip Talgat Sembekuly, Taraz University named after M. Kh. Dulaty, Department of Mechanics and Mechanical Engineering, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dzhussipov76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8131-2994>

Zhanpeisova Aizhan Orynbekovna, Taraz University named after M. Kh. Dulaty, Department of Energy, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ayzhan.zhanpeisova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>

Zhanserikkyzy Aknur, Master of Technical Sciences, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: zhanserikkyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6164-6775>

Zhalmagambetova Ultuar, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Automation Toraiyrov University, Pavlodar, 140008, Republic Of Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Zvontsov Aleksey Sergeevich, senior lecturer in «Radio Engineering, Electronics and Telecommunications», Faculties of Energy, Toraiyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: trigal@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9708-5673>

Zolotov Alexander, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of IT Technology, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: azol64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9751-8161>

Insepov Dauren Galimzhanovich, Doctoral student of the Kazakh National Research Technical University named after. K. I. Satpayeva, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail insepov_dauren83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-4824>

Ivanov Valery Anatolyevich, doctor of PhD, Faculty of power engineering, automation and telecommunications, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: v.ivanov@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2811-7908>

Iskakov Ualikhan Kabibullayevich, Engineer of relay protection and automation LLP «KAZ MINERALS» Aktogay, Aktogay village, Republic of Kazakhstan, e-mail: ualikhan88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6395-6067>

Issenov Sultanbek Sansyzbaevich, Dean of the Faculty of Energy, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Faculty of Energy, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation of the Faculty of Energy, Toraiyrov University, Pavlodar, Lomova 64, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Imangazinova Dinara Kenzhetaevna, doctoral student in «Electric power industry», Faculty of Energy, Toraiyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinaraigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Kassenov Duman Askhatuly, Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: dumankassenov98@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5517-6832>

Kislov Alexander Petrovich, Professor of the Department of Electrical Engineering and Automation, Toraiyrov University, , Pavlodar, 140008, Republic Of Kazakhstan, e-mail: kislovpsu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

Kazantsev Ivan Gavrilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Novosibirsk, 630000, Russian Federation, e-mail: kazantsev.ivan6@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8479-7349>

Kolesnikov Evgeny Nikolaevich, Postdoctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD «Electric Power Engineering», Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: jecha89_pvl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2334-5146>

Kumargazhanova Saule Kumargazhanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of Digital Technologies and Artificial Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: skumargazhanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>

Kismanova Aigerim Abilkasimovna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Operation of Electrical Equipment, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kismanova08@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6150-0517>

Kultan Islambek, Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: islambek.kultan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-0425>

Кудашева Алия Бакытжанқызы, PhD student in « thermal power engineering», Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Institute of Energy and Green Technologies, Institute of Combustion Problems, Junior researcher, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kudasheva_ab@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3151-5813>

Kassipkhan Akgul, Doctor of PhD, Head of the Agroecological Center (laboratory), Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.kasipkhan@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2342-8777>

Kirichenko Lalita, Doctoral student of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, The Republic of Kazakhstan, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Kishubaeva Altnai Tulparovna, Master of Information Systems, Senior Lecturer, Faculty of Information Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Altnai_999@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>

Kletsel Mark Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor, Faculty of Energy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mkletsel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4000-8915>

Kudaybergen Zulkharnay, student, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic Of

Kazakhstan, e-mail: kudaybergenzulkharnay2007@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6234-0520>

Kuttybay Nurzhigit, acting associate professor, PhD, Faculty of Physics and Technology, department of electronics and astrophysics, Kazakh National University named after Al Farabi, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: Nurjigit.10.93@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5723-6642>

Koshkarbay Nursultan, doctoral student, Faculty of Physics and Technology, department of electronics and astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: Koshkarbay.n@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-2334-3249>

Koishiev Temirkhan Kosybayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: temirkhan.koishiyev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5320-6243>

Kaverin Vladimir Viktorovich, Acting Professor, Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Maulet Meruyert, Senior researcher of Scientific Research Center «Surface engineering and tribology», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan, e-mail: maulet_meruert@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1869-9705>

Malgorzata Rutkowska-Gorczyca, PhD of the Department of Automotive Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, 50-370, Poland, e-mail: malgorzata.rutkowska-gorczyca@pwr.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2712-5914>

Madeniyet Yelubay, Candidate of Chemical Science, Dean of the Natural Science Faculty, Professor «Toraigyrov University» NCJSC, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>

Mansurov Zulkhair Aimukhametovich, Doctor of Chemical Sciences Professor, Institute of Combustion Problems, Chief Researcher, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ZMansurov@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>

Mekhtiyev Ali Dzhavanshirovich, Associate Professor, Associate Professor of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: barton.kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

Makashev Yerlan Prmagantovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, The Department of Computer Science, NCJSC «Al-Farabi Kazakh

National University», Astana, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Makashev.Yerlan70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1698-3614>

Muratova Gulzhan Klychovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences Acting Associate Professor at the Computer Science Department, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mugk1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich, doctor PhD, postdoctoral student, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokamashrapov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3018-4125>

Mashrapova Rizagul Megdaniyatovna, doctor PhD, assoc. professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: rizka1504@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

Moldakhmetov Sayat Sairanovich, Associate Professor of the Department of Power Engineering and Radioelectronics, Faculty of Engineering and Digital Technologies, North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>

Mukhanbetkaliyeva Ainur, Associate Professor of the Department of Space Engineering and Technology, PhD, Eurasian National University named after L.N.Gumilyov, Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: ainur-kanatm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5508-3331>

Musagazhinov Madiyar Zhalelovich, Doctoral student of the Kazakh Agrotechnical University named after From Seifullina, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: usagazhinov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4521-8172>

Novozhilov Alexander Nikolaevich, Professor of the Department of "Electric Power Engineering", Doctor of Technical Sciences, professor (Kazakhstan), Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Novozhilov Timofey Alexandrovich, Associate Professor of the Department "Power Supply of Industrial Enterprises", Candidate of Technical Sciences, Omsk State Technical University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Nazymbek Satbek Baqytbekuly, student in «Automation and control», Faculty of Information Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazymbeksatbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5039-2305>

Nurmaganbetova Gulim Sakhitovna, PhD, Acting Associate Professor Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Faculty of

Energy, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Ospanov Yerbol, PhD, associate professor Shakarim University, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: 78oca@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

Ospanova Nazira Nurgazievna, candidate of pedagogical sciences, associate professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: spanova.n@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>,

Orynbayev Seitghan Aueszhanovich, Board Member - Vice Rector for Science and Digitalization, PhD, associate professor, Taraz University named after M. Kh. Dulaty, Department of Energy, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: seitghan_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

Rakhadilov Bauyrzhan Korabaevich, Associate Professor of the Department of Physics and Technology, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Rahimberdinova Dilara Muratovna, Associate professor of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD «Electric Power Engineering», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail di_lara83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2985-9498>

Ritter Dmitry Viktorovich, Professor of the Department of Power Engineering and Radioelectronics, Faculty of Engineering and Digital Technologies, North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>

Rasmukhametova Ainur, PhD, associate professor, Department of Renewable and Alternative Energy Sources, Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.rasmukhametova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1376-6112>

Sagdoldina Zhuldyz Bolatkyzy, Senior researcher of Scientific Research Center «Surface engineering and tribology», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan, e-mail: sagdoldina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>

Sarsikeyev Yermek Zhaslanovich, Doctor of PhD, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Sagyndyk Aigerim Bekenkyzy, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Sydykova Gulnar, Ph.D., Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic Of Kazakhstan, e-mail: sydykova77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

Sarsembieva Elmira Kumalievna, Master of Technology degree senior lecturer, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsembieva@list.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7078-4236>

Sivyakova Galina Alexandrovna, Candidate of technical sciences, associate professor, Faculty of energy, transport and management systems, Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>,

Seitenova Gaini, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

Tankibayeva Akerke Kydyrbekovna, doctoral student in «Information systems», School of Digital Technologies and Artificial Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6053-4775>

Tlebaldinova Aizhan Soltangalievna, PhD., Associate Professor, School of Digital Technologies and Artificial Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1271-0352>

Torebek Kuandyk, doctoral student in the specialty "Energy Supply and Automation," Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kuandyktorebek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3198-9806>

Tasbolat Galymzhan Zhumabekovich, PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: galymzhan_zh@mail.ru, <https://orcid.org/00000002-3790-2097>

Telbaeva Shynar Zarykbekovna, doctoral student of the educational program «Electric power Industry», Faculty of power engineering, automation and telecommunications, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: tshz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6208-4113>

Tolepbergen Aday Abayuly, master student in «Information system», Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of

Kazakhstan, e-mail: tolepbergenad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4757-9008>

Tokzhigitova Nurgul Kairbaevna, PhD, associate professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurgul287@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3777-6454>

Tleshova Akmaral Shanovna, Taraz University named after M. Kh. Dulaty, Department of Automation and Telecommunications, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmaral.tleshova@mailru, <https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>

Talipov Olzhas, PhD, Associate Professor (Associate Professor), Dean of the Faculty of Energy, Toraighyrov University, , Pavlodar, 140008, Republic Of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Utemuratova Indira, Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: shondr2207@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7170-3203>

Khazimov Marat Zhalelovich, Candidate of Technical Sciences, professor, Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Institute of Energy and Green Technologies, Institute of Combustion Problems, leading researcher, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mkhazimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>

Shakenov Kalizhan, Ph.D., Associate Professor, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.shakenov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9722-1605>

Shakishva Karlygash Manasbekovna, Master of Science in Engineering, Faculty of Energy, Master Training, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: karligash-sh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5515-963X>

Shukamanov Zhanibek, Senior Lecturer, Department of Automation and Telecommunication, Faculty of Technology, Taraz Regional University named after. M.H. Dulati, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhe.shukamanov@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3017-7133>

Yusupova Asel, Orazovna, PhD, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Automation, «Electric Power Engineering», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail Aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 МРНТИ (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 DOI – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 Фамилия, имя, отчество (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*), **главного автора пометить символом (*)**;

4 Ученая степень, ученое звание;

5 Аффiliation (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 E-mail;

7 Название статьи должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 Аннотация – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются*

на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуются количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

10 Основной текст статьи излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет

ссылки, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:

автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 Иллюстрации, перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайғыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на сайт: www.vestnik-energy.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

НАО «Торайғыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspі.kz Платежи – Образование –Оплата за ВУЗы –Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jysan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBK KZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

***С. К. Антикеева**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомым компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.

2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.

3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.

4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университети, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitiye metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoy pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraiyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзіреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын қоруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзіреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeeva

Toraiyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАК, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегией статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz